

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1 9 9 9 年 1 1 月 1 日

出 願 番 号

Application Number:

平成 1 1 年 特 許 願 第 3 1 1 1 7 1 号

出 願 人

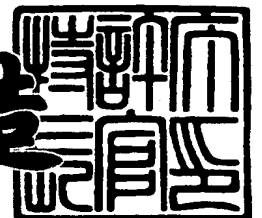
Applicant (s):

本田技研工業株式会社

2 0 0 0 年 7 月 2 1 日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Patent Office

及 川 耕 造



出 証 番 号 出 証 特 2 0 0 0 - 3 0 5 6 8 4 6

【書類名】 特許願

【整理番号】 E98-130

【提出日】 平成11年11月 1日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 B21D 7/06
B21D 7/12
B21D 11/14

【発明の名称】 押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法

【請求項の数】 8

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県狭山市新狭山 1 - 1 0 - 1 ホンダエンジニアリング株式会社内

【氏名】 武田 謙三

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県狭山市新狭山 1 - 1 0 - 1 ホンダエンジニアリング株式会社内

【氏名】 丸山 学

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県狭山市新狭山 1 - 1 0 - 1 ホンダエンジニアリング株式会社内

【氏名】 廻 秀夫

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県狭山市新狭山 1 - 1 0 - 1 ホンダエンジニアリング株式会社内

【氏名】 影山 善浩

【特許出願人】

【識別番号】 000005326

【氏名又は名称】 本田技研工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100105094

【弁理士】

【氏名又は名称】 山▲崎▼ 薫

【電話番号】 03-5226-0508

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 049618

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9804619

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 全体座標系に従って、軸心回りで捻れる長尺製品の形状を表現する形状データを取得する工程と、形状データに基づき、押し通し曲げ加工機の固定型を基準に特定される局部座標系を長尺製品の断面ごとに設定する工程と、隣接する局部座標系に基づき、長尺製品の軸心方向に特定される単位送り量当たりの軸心回り比捻れ角を算出する工程と、算出された軸心回り比捻れ角に基づき、軸心回りで相対回転する押し通し曲げ加工機の固定型および可動型の間で軸心回り相対回転角を算出する工程とを備えることを特徴とする押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法において、前記軸心回り比捻れ角を算出するにあたって、前記軸心に前記局部座標系の z 座標軸を一致させつつ前記断面に沿って前記局部座標系の x y 座標平面を規定する工程と、 z 座標軸回りの回転角を維持しつつ隣接する局部座標系同士の間で x y 座標平面同士を互いに重ね合わせる工程と、重ね合わせられた 1 対の x y 座標平面に基づき、隣接する断面の間で軸心回り捻れ角を導き出す工程とを備えることを特徴とする押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法。

【請求項 3】 請求項 2 に記載の押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法において、前記 x y 座標平面を規定するにあたって、前記形状データに基づき前記軸心を特定する工程と、前記形状データに基づき、前記局部座標系ごとに同一の座標位置を通過する少なくとも 1 本のガイド線を特定する工程とを備えることを特徴とする押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法。

【請求項 4】 請求項 3 に記載の押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法において、長尺製品の全長にわたって前記軸心をパラメトリック曲線で表現する工程と、前記軸心上で特定されるパラメトリック曲線の制御点ごとに前記断面を設定する工程とをさらに備えることを特徴とする押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法。

【請求項 5】 請求項 4 に記載の押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法において、前記局部座標系上で、前記固定型および可動型の間のアプローチ距離を特定する工程と、特定されたアプローチ距離に基づき前記局部座標系上で可動型の移動平面を規定する工程と、前記局部座標系上で移動平面および前記軸心の交差点を特定する工程とをさらに備えることを特徴とする押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法。

【請求項 6】 請求項 5 に記載の押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法において、前記長尺製品の全長にわたって断面ごとに重心の位置を特定する重心線を取得する工程と、取得された重心線に基づき長尺材の全長にわたって中立軸を描き出す工程と、少なくとも隣接する前記断面同士の間で、描き出された中立軸の長さを基準に前記長尺材の送り量を算出する工程とをさらに備えることを特徴とする押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法。

【請求項 7】 請求項 6 に記載の押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法において、前記中立軸を特定するにあたって、前記形状データで特定される前記長尺製品の曲率に基づき断面に沿って前記重心線から前記中立軸までの乖離量を算出する工程を備えることを特徴とする押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法。

【請求項 8】 全体座標系に従って軸心回りで捻れる長尺製品の形状を表現する形状データを取得する工程と、形状データに基づき、押し通し曲げ加工機の固定型を基準に特定される局部座標系を長尺製品の断面ごとに設定する工程と、隣接する局部座標系に基づき、長尺製品の軸心方向に特定される単位送り量当たりの軸心回り比捻れ角を算出する工程と、算出された軸心回り比捻れ角に基づき、軸心回りで相対回転する押し通し曲げ加工機の固定型および可動型の間で軸心回り相対回転角を算出する工程とをコンピュータに実現させるプログラムが記録されたコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、固定型および可動型を相次いで通過する長尺材に、固定型に対する

可動型の相対変位を通じて曲げ変形を施すことができる押し通し曲げ加工機に関し、特に、こういった押し通し曲げ加工機の制御に用いられる制御データを生成する制御データ作成方法に関する。

【0002】

なお、本明細書中、「曲線」には、湾曲した線のみならず、線分の連結によって描き出される線（例えば折れ線）が含まれるものとする。

【0003】

【従来の技術】

一般に、押し通し曲げ加工機は、例えば特開平 9 - 3 2 7 7 2 7 号公報や特開平 1 0 - 1 6 6 0 6 4 号公報に開示されるように、長尺材に曲げ変形を施すにあたって使用される。例えばアルミニウム製形材が固定型および可動型を相次いで通過する間に、形材の送り方向に直交する平面内で可動型が移動すると、形材に曲げ変形（塑性変形）が引き起こされる。こうした押し通し曲げ加工機では、2 次元や 3 次元を問わず様々な曲がり具合の曲げ加工が形材に対して比較的簡単に実現されることができる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

一般に、自動車や家電を始めとする工業製品の分野では、製造加工の実現性に応じてデザインの幅は狭められてしまう。例えば押し通し曲げ加工機によって曲げ加工と同時に捻り加工が実現されることができれば、デザインの幅は著しく広げられると予想される。これまでのところ、押し通し曲げ加工機を用いて、設計されたデザインに従って捻り加工を実現する術は確立されていない。

【0005】

本発明は、上記実状に鑑みてなされたもので、従来の曲げ加工に加えて、できる限り設計どおりに捻れ加工を実現することができる押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明によれば、全体座標系に従って、軸心回り

で捻れる長尺製品の形状を表現する形状データを取得する工程と、形状データに基づき、押し通し曲げ加工機の固定型を基準に特定される局部座標系を長尺製品の断面ごとに設定する工程と、隣接する局部座標系に基づき、長尺製品の軸心方向に特定される単位送り量当たりの軸心回り比捻れ角を算出する工程と、算出された軸心回り比捻れ角に基づき、軸心回りで相対回転する押し通し曲げ加工機の固定型および可動型の間で軸心回り相対回転角を算出する工程とを備えることを特徴とする押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法が提供される。

【0007】

押し通し曲げ加工機を用いて長尺材に捻れ変形を加えるにあたっては、固定型および可動型のいずれか一方が長尺材の軸心回りで回転すればよい。こうした回転によれば、固定型および可動型の間で長尺材に捻れ変形が引き起こされる。このとき、固定型と可動型との間で確立される軸心回り相対回転角は、例えば固定型および可動型の間で特定される距離と、同様に固定型および可動型の間で軸心方向に分布する軸心回り比捻れ角とに基づき算出されることができる。長尺製品の捻れを表現する形状データに基づき軸心回り比捻れ角が算出されれば、そういった捻れを実現する軸心回り相対回転角は比較的の高い精度で導き出されることができる。したがって、こうして導き出された軸心回り相対回転角に基づき軸心回りで固定型や可動型の回転が制御されれば、比較的の高い精度で長尺材に捻れ変形を加えることが可能となる。

【0008】

前記軸心回り比捻れ角を算出するにあたって、押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法は、前記軸心に前記局部座標系の z 座標軸を一致させつつ前記断面に沿って前記局部座標系の x y 座標平面を規定する工程と、 z 座標軸回りの回転角を維持しつつ隣接する局部座標系同士の間で x y 座標平面同士を互いに重ね合わせる工程と、重ね合わせられた1対の x y 座標平面に基づき、隣接する断面の間で軸心回り捻れ角を導き出す工程とを備えてもよい。 x y 座標平面同士の重ね合わせは、例えば行列演算などを通じて比較的簡単に実現されることができる。したがって、隣接する断面の間で比較的簡単に長尺製品の捻れ量すなわち捻れ角は算出されることができる。

【 0 0 0 9 】

前記 x y 座標平面を規定するにあたって、押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法は、前記形状データに基づき前記軸心を特定する工程と、前記形状データに基づき、前記局部座標系ごとに同一の座標位置を通過する少なくとも 1 本のガイド線を特定する工程とを備えてもよい。例えば形状データで表現される長尺製品では、軸心と少なくとも 1 本のガイド線とに基づけば、長尺製品の捻れ具合は正確に把握されることができる。こうした軸心やガイド線は、一般に、C A D (コンピュータ支援設計) システムで作成される形状データに基づき比較的簡単に導き出されることができる。

【 0 0 1 0 】

こうした押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法は、前記局部座標系上で、前記固定型および可動型の間のアプローチ距離を特定する工程と、特定されたアプローチ距離に基づき前記局部座標系上で可動型の移動平面を規定する工程と、前記局部座標系上で移動平面および前記軸心の交差点を特定する工程とをさらに備えてもよい。

【 0 0 1 1 】

前述のように長尺製品の断面に局部座標系が設定されると、局部座標系上で固定型から前方に延びる長尺製品が再現されることができる。この局部座標系上で長尺製品に対して可動型が仮想的に重ね合わせられると、可動型の位置は局部座標系上で特定されることができる。こうした可動型の位置は、アプローチ距離に基づき特定される可動型の移動平面と長尺製品の軸心との交差点によって比較的簡単に特定されることができる。特定された交差点の位置は、固定型と可動型との間で形成される長尺製品の曲げ変形を反映したものとなる。こうして特定される可動型の位置に基づき可動型の移動量が算出されれば、設計どおりの曲げ加工を実現する可動型の理想的な移動量が得られることができる。

【 0 0 1 2 】

また、押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法は、前記長尺製品の全長にわたって断面ごとに重心の位置を特定する重心線を取得する工程と、取得された重心線に基づき長尺材の全長にわたって中立軸を描き出す工程と、少なくとも隣接

する前記断面同士の間で、描き出された中立軸の長さを基準に前記長尺材の送り量を算出する工程とをさらに備えてもよい。

【0013】

一般に、押し通し曲げ加工機では、固定型から送り出される長尺材に可動型で曲げ加工が施されると、送りの反力によって長尺材には軸方向圧縮力が加えられてしまう。こうした軸方向圧縮力は長尺材の長さに変動を引き起こす。こうした長さの変動は曲げの曲率に応じて変化する。その一方で、曲率の大きさに拘わらず中立軸では軸方向に歪みは生じない。したがって、加工前と加工後とで中立軸の長さは一定に維持される。こうした中立軸を基準に長尺材の送り量が決定されれば、押し通し曲げ加工機で加工される長尺製品の精度向上に大いに役立つ。

【0014】

しかも、押し通し曲げ加工機が用いられる場合、長尺製品の形状を表現する形状データに基づき幾何学的に可動型の移動量が特定されても、長尺製品は高い精度で形作られることはできない。実際の加工にあたっては、例えば、加工中の長尺材の弾塑性曲げ変形に起因する弾性回復いわゆるスプリングバックや、固定型の出口で引き起こされる剪断変形や断面変形に基づく長尺材の折れ、断面変形に基づく可動型の移動不足、固定型および可動型に対する長尺材のクリアランスに基づく可動型の移動不足などが考慮されなければならない。こうした様々な要因が考慮されて初めて精度の高い曲げ変形は実現されることが出来る。これらの要因を考慮するにあたって、各断面ごとに固定型の中心位置や重心の位置を基準に計算処理が実現されれば、計算処理の負担は軽減されることが出来る。したがって、長尺材の送り量を決定するにあたっては、長尺材の全長にわたって重心の位置を特定する重心線が描き出されることが望まれる。特に、各断面では、固定型の中心位置と重心の位置とは一致することが望まれる。

【0015】

中立軸を特定するにあたって、押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法は、前記長尺製品の断面上で重心の位置を特定する工程と、前記形状データで特定される前記長尺製品の曲率に基づき断面に沿って重心から中立軸までの乖離量を算出する工程とを備えてもよい。

【 0 0 1 6 】

一般に、曲げ変形が加えられる際に材料工学に基づき長尺材の特性を解析するにあたっては、曲率半径方向に沿って重心の位置が特定されることが望ましい。こうした重心の位置は、例えばCADシステムなどによって比較的簡単に導き出されることができる。したがって、重心の位置を基準に中立軸の位置を特定することができれば非常に都合がよい。算出された乖離量に基づけば、比較的簡単にこういった中立軸の位置は特定されることができる。こうして断面ごとに特定された中立軸の位置は、隣接する断面同士の間で次々に連結されていく。その結果、長尺製品の全長にわたって中立軸は描き出されることができる。

【 0 0 1 7 】

重心線の長さに基づき長尺材の送り量を決定するにあたって、押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法は、前記長尺製品の全長にわたって前記重心線をパラメトリック曲線で表現する工程と、重心線上で特定されるパラメトリック曲線の制御点ごとに前記断面を設定する工程とを備えてもよい。

【 0 0 1 8 】

一般に、パラメトリック曲線では、表現しようとする曲線の曲率が大きくなるほど制御点の個数は増加し、反対に、曲線の曲率が小さくなるほど制御点の個数は減少する。したがって、こうしたパラメトリック曲線の特長を生かしつつ長尺製品の各断面が規定されれば、長尺製品の曲率が大きくなればなるほど断面の枚数は増加し、その結果、曲率の大きさに応じてきめ細かく長尺材の送り量を設定することが可能となる。こうして送り量が設定されれば、押し通し曲げ加工機で加工される長尺製品の精度向上に大いに役立つ。

【 0 0 1 9 】

以上のような押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法は、コンピュータで実行されるソフトウェアプログラムとして構成されてもよい。こうしたソフトウェアプログラムは、例えばFD（フロッピーディスク）やCD（コンパクトディスク）、DVD（デジタルビデオディスク）といった可搬性の記録媒体を通じてコンピュータに取り込まれてもよく、LAN（構内通信網）やWAN（広域通信網）、インターネットといったネットワークを通じてコンピュータに取り込まれて

もよい。

【0 0 2 0】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照しつつ本発明の一実施形態を説明する。

【0 0 2 1】

図 1 は押し通し曲げ加工機の全体構成を概略的に示す。この押し通し曲げ加工機 1 0 は、長尺材 1 1 の前進移動を案内する前後 1 対の型すなわち固定型 1 2 および可動型 1 3 と、固定型 1 2 および可動型 1 3 に向かって長尺材 1 1 を送り込む送り機構 1 4 とを備える。こうした押し通し曲げ加工機 1 0 では、後述されるように、長尺材 1 1 の進行方向に直交する平面内で可動型 1 3 が移動すると、長尺材 1 1 に曲げ変形（塑性変形）が引き起こされる。

【0 0 2 2】

送り機構 1 4 は、例えば長尺材 1 1 の後端に接触する押し金すなわちスライダ 1 5 と、送りモータ 1 6 の回転力をスライダ 1 5 の推進力に変換するねじ軸 1 7 とを備える。送りモータ 1 6 の働きを通じてねじ軸 1 7 が順方向に回転すると、その回転に応じてスライダ 1 5 は前進し、ねじ軸 1 7 が逆方向に回転すると、スライダ 1 5 は後退することができる。スライダ 1 5 の前進は長尺材 1 1 の前進を引き起こす。スライダ 1 5 の前進量すなわち長尺材 1 1 の送り量はねじ軸 1 7 の回転量すなわち送りモータ 1 6 の回転量に応じて決定されることができる。送りモータ 1 6 にはいわゆるサーボモータが用いられればよい。

【0 0 2 3】

こうした押し通し曲げ加工機 1 0 では、中実の長尺材や中空の長尺材 1 1 が加工されることができる。中空の長尺材 1 1 は、例えばアルミニウム製の押し出し材すなわち型材や鉄製のパイプ材に代表されることができる。一般に、長尺材 1 1 ではその全長にわたって共通の断面形状が規定される。ただし、断面形状は長尺材 1 1 の全長にわたって常に一定である必要は必ずしもない。

【0 0 2 4】

前述の送り機構 1 4 や固定型 1 2 はいわゆる振り子部材 1 9 に支持される。振り子部材 1 9 の円柱形外周面は、図 2 から明らかなように、半円筒面に沿って配

置される軸受け 2 0 を通じて支持台 2 1 に支持される。こうした振り子部材 1 9 の働きによれば、長尺材 1 1 は、固定型 1 2 とともに固定型 1 2 の中心軸 2 2 回りで回転することができる。こうした回転は、後述されるように、例えば長尺材 1 1 の軸心回りで固定型 1 2 と可動型 1 3 との間に相対回転を生み出す。この相対回転は長尺材 1 1 の軸心回りで長尺材 1 1 に捻れ変形を引き起こす。振り子部材 1 9 の回転は、例えばサーボモータで構成される駆動モータ 2 3 の働きを通じて実現されればよい。

【 0 0 2 5 】

図 2 に示されるように、固定型 1 2 には、長尺材 1 1 の外形を象った貫通孔 2 4 が形成される。この貫通孔 2 4 によって長尺材 1 1 の前進移動は案内される。長尺材 1 1 の断面形状は、図 2 に示される貫通孔 2 4 から明らかなように、円形や楕円形、三角形その他の多角形といった単純な形状であってもよいばかりでなく、その他の複雑な形状であっても差し支えない。貫通孔 2 4 の形状は長尺材 1 1 の断面形状に合わせ込まれればよい。

【 0 0 2 6 】

図 2 から明らかなように、中空の長尺材 1 1 が加工される場合には、固定型 1 2 に囲まれる長尺材 1 1 の中空空間には芯金すなわち中子 2 5 が差し込まれることが望ましい。周知のように、こうした押し通し曲げ加工機 1 0 では、固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口付近で最も大きな曲げ応力が長尺材 1 1 に作用する。このとき、長尺材 1 1 が中空であると、貫通孔 2 4 の縁で長尺材 1 1 の断面形状が押し潰されることがある。その結果、長尺材 1 1 に対する曲げ変形の変形量に大きな誤差が生じたり長尺材 1 1 の外周面に不要な窪みが形成されたりしてしまう。長尺材 1 1 の内側から中子 2 5 が接触すれば、こうした長尺材 1 1 の押し潰しはできる限り回避されることができる。

【 0 0 2 7 】

図 1 から明らかなように、中子 2 5 には、中子 2 5 を前後移動させる制御モータ 2 6 が連結される。この制御モータ 2 6 の働きによって中子 2 5 は長尺材 1 1 に対して出し入れされる。しかも、本実施形態では、固定型 1 2 の中心軸 2 2 回りで中子 2 5 を回転させる制御モータ 2 7 が中子 2 5 に連結される。この制御モ

ータ 2 7 は、前述のように振り子部材 1 9 の回転に伴って固定型 1 2 が中心軸 2 2 回りに回転すると、この回転に応じて中子 2 5 を中心軸 2 2 回りに回転させることができる。制御モータ 2 6、2 7 には例えばサーボモータが用いられればよい。

【0028】

図 1 および図 3 を参照し、可動型 1 3 には、固定型 1 2 と同様に、長尺材 1 1 の外形を象った貫通孔 2 8 が形成される。この貫通孔 2 8 によって長尺材 1 1 の前進移動は案内される。この貫通孔 2 8 の形状は例えば固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の形状に一致することが望ましい。

【0029】

可動型 1 3 は、固定型 1 2 の中心軸 2 2 の延長線に直交する移動平面内で移動することができる。可動型 1 3 の移動は、例えば上下動部材 2 9 の上下動と水平動部材 3 0 の水平動との組み合わせによって実現される。上下動部材 2 9 は、上下方向すなわち垂直方向に変位自在に水平動部材 3 0 に案内される。同時に、水平動部材 3 0 は、水平方向に変位自在に案内部材 3 1 に支持される。上下動部材 2 9 の変位は例えば上下動モータ 3 2 の働きによって実現されればよく、水平動部材 3 0 の変位は例えば水平動モータ 3 3 の働きによって実現されればよい。例えば、上下動モータ 3 2 や水平動モータ 3 3 は、微小な回転角で回転軸の回転量を制御することができるサーボモータその他の駆動源から構成されればよい。

【0030】

しかも、この可動型 1 3 は、前述の移動平面でその位置を変えながらその姿勢を変化させることができる。こうした可動型 1 3 の姿勢変化は、垂直方向に延びる回転軸 3 4 が形成された回転部材 3 5 や、水平方向に延びる 1 対の揺動軸 3 6 が形成された揺動部材 3 7 の働きを通じて実現される。上下動部材 2 9 に形成された支持孔 3 8 に回転軸 3 4 が受け止められると、回転部材 3 5 は垂直軸回りで回転することができる。その一方で、回転部材 3 5 に形成される支持孔 3 9 に 2 つの揺動軸 3 6 が受け止められると、揺動部材 3 7 は水平軸回りで揺動することができる。回転部材 3 5 の回転や揺動部材 3 7 の揺動は、個々に、例えばサーボモータで構成される駆動モータ（図示せず）の働きによって実現されればよい。

ここでは、揺動軸 3 6 の揺動中心は中心軸 2 2 の延長線上で回転軸 3 4 の回転中心に直交することが望ましい。

【 0 0 3 1 】

図 4 は、以上のような押し通し曲げ加工機 1 0 が組み込まれた押し通し曲げ加工システム 4 1 の全体構成を概略的に示す。この押し通し曲げ加工システム 4 1 では、押し通し曲げ加工機 1 0 の動作は NC (数値制御) コントローラ 4 2 によって制御される。この制御を実現するにあたって、NC コントローラ 4 2 は、例えば図 5 に示されるように押し通し曲げ加工機 1 0 に対して三次元機械座標系 $x y z$ を設定する。この機械座標系 $x y z$ は、例えば固定型 1 2 の中心軸 2 2 に重なり合う z 座標軸と、貫通孔 2 4 の出口が臨む 1 平面上で固定型 1 2 の水平方向および垂直方向をそれぞれ規定する x 座標軸および y 座標軸とを備える。中心軸 2 2 回りで特定される固定型 1 2 の姿勢、すなわち、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間で確立される軸心回り相対回転角は機械座標系 $x y z$ に従って指定される z 軸回り回転角 C によって特定されることができる。

【 0 0 3 2 】

可動型 1 3 の移動平面 HV は、機械座標系 $x y z$ の $x y$ 平面に平行な姿勢に保持されることが望ましい。こうした移動平面 HV の設定によれば、可動型 1 3 の位置は、機械座標系 $x y z$ に従って指定される x 座標値や y 座標値によって簡単に特定されることができる。このとき、可動型 1 3 の z 座標値は、いわゆるアプローチ距離すなわち固定型 1 2 および可動型 1 3 間の距離に基づき特定されればよい。このアプローチ距離は可動型 1 3 の移動に拘わらず一定に保持される。

【 0 0 3 3 】

例えば可動型 1 3 の移動平面 HV と中心軸 2 2 の延長線 (機械座標系 $x y z$ の z 座標軸) との交点は可動型 1 3 の基準位置に設定されることができる。この基準位置に可動型 1 3 が位置決めされると、2 つの貫通孔 2 4、2 8 を相次いで通過する長尺材 1 1 には移動平面 HV に沿った可動型 1 3 の拘束力は加えられない。すなわち、真っ直ぐな長尺材 1 1 は直進し、このとき長尺材 1 1 にはいかなる曲げ変形も引き起こされない。こうして可動型 1 3 の基準位置が特定されると、可動型 1 3 の姿勢は、例えば機械座標系 $x y z$ に従って指定される y 軸 (V 軸)

回り回転角 B や x 軸 (H 軸) 回り回転角 A によって特定されることができる。しかも、可動型 1 3 の基準位置が確立されると固定型 1 2 の中心軸 2 2 によって長尺材 1 1 の軸心は特定される。

【0 0 3 4】

再び図 4 を参照し、NC コントローラ 4 2 には、エンジニアリングワークステーション (EWS) やパーソナルコンピュータ (パソコン) といったコンピュータ装置 4 3 で算出された NC 加工プログラムが供給される。この NC 加工プログラムには、例えば長尺材 1 1 の送り位置すなわち送り量ごとに関連付けられた可動型 1 3 の位置や姿勢、固定型 1 2 の軸心回り相対回転角といった制御データが規定される。前述の機械座標系 x y z に従って可動型 1 3 の x 座標値や y 座標値が指定されると、NC コントローラ 4 2 は、そういった x 座標値や y 座標値を確立する水平動モータ 3 3 や上下動モータ 3 2 の回転量を規定する駆動指令値を押し通し曲げ加工機 1 0 に向けて出力する。機械座標系 x y z に従って可動型 1 3 の y 軸回り回転角 B や x 軸回り回転角 A が指定されると、NC コントローラ 4 2 は、これら回転角を確立する回転部材 3 5 や揺動部材 3 7 の回転を引き起こす駆動モータの駆動指令値を押し通し曲げ加工機 1 0 に向けて出力する。さらに、機械座標系 x y z に従って固定型 1 2 の z 軸回り回転角 C が指定されると、NC コントローラは、この z 軸回り回転角 C を確立する振り子部材 1 9 の回転を引き起こす駆動モータ 2 3 の駆動指令値を押し通し曲げ加工機 1 0 に向けて出力する。

【0 0 3 5】

コンピュータ装置 4 3 には、本発明に係る押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法を実現する NC 加工プログラム作成ソフトウェアが組み込まれる。この NC 加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば、コンピュータ支援設計 (CAD) システムを実現する CAD ソフトウェアの 1 モジュール (いわゆるアドオンソフトウェア) として機能することができる。こうして CAD ソフトウェアに組み入れられれば、NC 加工プログラム作成ソフトウェアは、制御データ作成方法を実現するにあたって、CAD ソフトウェアに組み込まれた既存の機能を流用することが可能となる。ただし、NC 加工プログラム作成ソフトウェアは CAD ソフ

トウェアに組み入れられる必要は必ずしもなく、必要とされる全ての機能をNC加工プログラム作成ソフトウェア単独で備えていてもよい。NC加工プログラム作成ソフトウェアは、例えばFD（フロッピーディスク）44やCD（コンパクトディスク）45、DVD（デジタルビデオディスク）、その他の可搬性記録媒体からコンピュータ装置43に取り込まれてもよく、無線や有線を問わずネットワークを通じてコンピュータ装置43に取り入れられてもよい。

【0036】

本発明に係る押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法を実現するにあたって、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、例えばLAN（構内通信網）やWAN（広域通信網）、インターネットといったネットワーク46を通じて長尺製品の形状データを取得する。取得した形状データを用いて、NC加工プログラム作成ソフトウェアは前述のようなNC加工プログラムを作成する。

【0037】

形状データは、例えばサーバコンピュータ47に構築される製品データベースから取り込まれればよい。製品データベースには、例えばCAD端末48上で設計された製品のCADデータが格納されればよい。こうしたCADデータは、前述と同様に、例えばFD（フロッピーディスク）やCD（コンパクトディスク）、DVD（デジタルビデオディスク）、その他の可搬性記録媒体から製品データベースに取り込まれてもよく、無線や有線を問わずネットワーク49を通じて製品データベースに取り入れられてもよい。

【0038】

いま、例えば図6に示されるように、均一断面の材に曲げ変形および捻れ変形が施されて形成される長尺製品51が設計された場面を想定する。CADシステム上で設計された長尺製品51はCADデータとして製品データベースに格納される。こうしたCADデータには、単一の全体座標系XYZに従って長尺製品51の形状を表現する形状データが少なくとも含まれる。形状データには例えばワイヤフレームモデルやサーフェスモデル、ソリッドモデルといった表現方法が用いられればよい。形状データは、少なくとも、長尺製品51の断面形状と、長尺製品51の全長にわたって長尺製品51の曲がり具合および捻れ具合とを特定

すればよい。長尺製品 5 1 の曲がり具合や捻れ具合は、各断面で同一の位置を通過する 2 本の曲線（例えば稜線）で表現されることができる。

【 0 0 3 9 】

操作者は、まず、コンピュータ装置 4 3 上で NC 加工プログラム作成ソフトウェアを立ち上げる。NC 加工プログラム作成ソフトウェアは、操作者の入力操作に基づき製品データベースから長尺製品 5 1 の形状データを取り込む。入力操作には例えばキーボードやマウスが用いられればよい。取り込まれた形状データに基づき、コンピュータ装置 4 3 の画面上には長尺製品 5 1 の三次元像が再現されることができる。この再現にあたっては、例えば CAD ソフトウェアの画像処理機能が用いられてもよい。

【 0 0 4 0 】

こうして長尺製品 5 1 の三次元形状が確認されると、NC 加工プログラム作成ソフトウェアは、固定型 1 2 の貫通孔 2 4 を通過する長尺材 1 1 の送り位置 W を決定する。送り位置 W は、例えば押し通し曲げ加工機 1 0 に長尺材 1 1 がセットされる際に確立されるスライダ 1 5 の最後退位置すなわち加工前の待機位置を基準に規定されればよい。こうした基準で送り位置 W が設定されると、スライダ 1 5 が前進して長尺材 1 1 を送り出すにつれて送り位置 W の z 座標値はマイナス側に減少していく。このような送り位置 W は、後述されるように、長尺製品 5 1 の長手方向に延びる中立軸に基づき決定される。

【 0 0 4 1 】

送り位置 W が決定されると、NC 加工プログラム作成ソフトウェアは、各送り位置 W ごとに、可動型 1 3 の位置や姿勢と、可動型 1 3 に対する固定型 1 2 の軸心回り相対回転角とを特定する。可動型 1 3 の位置は例えば機械座標系 x y z の x 座標値や y 座標値に基づき規定されればよい。可動型 1 3 の姿勢は例えば機械座標系 x y z の y 軸回り回転角 B や x 軸回り回転角 A に基づき規定されればよい。固定型 1 2 の軸心回り相対回転角は例えば機械座標系 x y z の z 軸回り回転角 C に基づき規定されればよい。これらの x 座標値および y 座標値や、y 軸回り回転角 B および x 軸回り回転角 A、z 軸回り回転角 C によって制御データは作成されることができる。こうした制御データによれば、スライダ 1 5 の前進速度すな

わち長尺材 1 1 の送り速度が決定されると、可動型 1 3 の x 軸方向移動速度や y 軸方向移動速度、y 軸回り回転速度、x 軸回り回転速度、固定型 1 2 の z 軸回り回転速度は決定されることができる。決定された速度に従って可動型 1 3 の位置や姿勢並びに固定型 1 2 の姿勢が変化する限り、各送り位置 W ごとに制御データで指定される可動型 1 3 の位置や姿勢並びに固定型 1 2 および可動型 1 3 の間の相対回転は確実に確立されることができる。

【 0 0 4 2 】

制御データに NC プログラムヘッダや NC プログラムフッタの記述が追加されると、例えば図 7 に示されるように NC 加工プログラムは完成する。完成した NC 加工プログラムは最終的に NC コントローラ 4 2 に供給される。NC コントローラ 4 2 は、NC 加工プログラムに従って押し通し曲げ加工機 1 0 を作動させる。図 7 に示される NC 加工プログラムに従えば、長尺材 1 1 は一定の送り速度 $F = 6000 \text{ mm/分}$ で固定型 1 2 および可動型 1 3 を通り抜ける。例えば送り位置 $W = -1424.000 \text{ mm}$ が確立されると、可動型 1 3 は、前述の基準位置すなわち移動平面 H V の原点位置から x 座標値 $X = 0.000 \text{ mm}$ および y 座標値 $Y = 0.446 \text{ mm}$ で特定される座標位置に移動する。このとき、可動型 1 3 の姿勢は、y 軸回り回転角 $B = 0.000 \text{ 度}$ および x 軸回り回転角 $A = 0.159 \text{ 度}$ で特定される。続いて長尺材 1 1 が送り位置 $W = -1504.072 \text{ mm}$ に到達すると、可動型 1 3 は、x 座標値 $X = 0.000 \text{ mm}$ および y 座標値 $Y = 4.409 \text{ mm}$ で特定される座標位置に移動する。このとき、可動型 1 3 の姿勢は、y 軸回り回転角 $B = 0.000 \text{ 度}$ および x 軸回り回転角 $A = 3.157 \text{ 度}$ で規定される姿勢に変化する。例えば長尺材 1 1 が送り位置 $W = -1601.907 \text{ mm}$ に到達すると、可動型 1 3 は、x 座標値 $X = 0.090 \text{ mm}$ および y 座標値 $Y = 8.515 \text{ mm}$ で特定される座標位置に移動する。このとき、可動型 1 3 の姿勢は、y 軸回り回転角 $B = -0.065 \text{ 度}$ および x 軸回り回転角 $A = 6.092 \text{ 度}$ で規定される姿勢に変化する。同時に、固定型 1 2 は、中心軸 2 2 回りで回転して z 軸回り回転角 $C = 0.7091 \text{ 度}$ で規定される姿勢に変化する。こうして各送り位置 W を通過するたびに、可動型 1 3 は、x 座標値 X や y 座標値 Y で規定される位置に移動しながら、y 軸回り回転角 B や x 軸回り回転角 A で規定され

る姿勢に変化する。同時に、固定型 1 2 と可動型 1 3 との間には z 軸回り回転角 C で規定される相対回転が確立される。隣接する送り位置 W 同士の間では、x 座標値 X および y 座標値 Y や y 軸回り回転角 B や x 軸回り回転角 A、z 軸回り回転角 C は例えば等速で変化すればよい。

【0 0 4 3】

送り位置 W を決定するにあたって、NC 加工プログラムは長尺製品 5 1 の重心線を取得する。この重心線は、長尺製品 5 1 の全長にわたって各断面で特定される重心の位置を特定する。この重心線を特定するにあたって、NC 加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図 8 および図 9 に示されるように、長尺製品 5 1 の断面形状 5 2 を表現する二次元データと、断面形状 5 2 の各頂点に対応する稜線を表現する三次元データとを利用する。ただし、各稜線に断面形状 5 2 の各頂点を対応させるにあたって、各頂点に形成される角取りは無視される。すなわち、稜線は、断面形状 5 2 の作図過程で利用される角取り以前の頂点によって描き出される。

【0 0 4 4】

詳述すると、NC 加工プログラム作成ソフトウェアは、まず、二次元データで特定される断面形状 5 2 の各頂点と、三次元データで特定される稜線との対応関係を取得する。この取得には例えば GUI（グラフィックユーザインターフェース）が用いられればよい。すなわち、操作者は、図 9 に示されるように、コンピュータ装置 4 3 の画面上に描き出された稜線の三次元像に基づき第 1 および第 2 ガイド線 5 3 a、5 3 b を指定するとともに、同様に図 8 に示されるように、画面上に描き出された断面形状 5 2 に基づき例えば第 1 および第 2 ガイド点 5 4 a、5 4 b を指定する。ここでは、指定の順番に従って、第 1 ガイド線 5 3 a と第 1 ガイド点 5 4 a とが相互に関連付けられ、第 2 ガイド線 5 3 b と第 2 ガイド点 5 4 b とが相互に関連付けられる。こうした指定には例えばマウス操作が用いられればよい。

【0 0 4 5】

こうして二次元データと三次元データとが関連付けられると、NC 加工プログラム作成ソフトウェアは、断面に沿って 2 つのガイド点 5 4 a、5 4 b と重心 5

5との位置関係を取得する。この取得には例えばGUIが用いられればよい。すなわち、操作者は、図8に示されるように、コンピュータ装置43の画面上に描き出される長尺製品51の断面形状52にxy座標系を重ね合わせればよい。こうしてxy座標系が設定されると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、xy座標系に従って第1および第2ガイド点54a、54bのx座標値およびy座標値や重心55のx座標値およびy座標値を算出する。ただし、ここでは、2つのガイド点54a、54bに対する重心55の相対的な位置関係が導き出されれば十分である。図8に示されるようにxy座標系の座標原点が重心55に重ね合わせられれば、重心55のx座標値やy座標値は算出される必要はなくなる。

【0046】

続いてNC加工プログラム作成ソフトウェアは、図10に示されるように、三次元データで規定される2つの稜線すなわち第1および第2ガイド線53a、53bに対して複数の切断平面57a～57gを規定する。こうした切断平面57a～57gの設定にあたっては、第1および第2ガイド線53a、53bは各々同数の部分線に等分割されればよい。各切断平面57a～57gは、部分線の分割点58a～58gで第1および第2ガイド線53a、53bの接線に直交する。各切断平面57a～57gでは、第1ガイド線53aと切断平面57a～57gとが交差する位置で第1ガイド点54aは特定されることができ、第2ガイド線53bと切断平面57a～57gとが交差する位置で第2ガイド点54bは特定されることができる。

【0047】

こうして各切断平面57a～57g上で第1および第2ガイド点54a、54bの位置が特定されると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、前述のように2つのガイド点54a、54bと重心55との位置関係に基づき、切断平面57a～57g上で重心55の位置を特定する。こうして算出された重心55が順番に連結されていくと、例えば図11に示されるように、重心線59は描き出されることができる。重心55同士を結ぶにあたって曲率の連続性が考慮されれば、滑らかで精度の高い重心線59が得られることができる。その他、こうして得られる重心線59の精度を高めるには、重心55同士の間隔すなわち切断平面5

7 a ~ 5 7 g 同士の間隔は狭められることが望ましい。重心線 5 9 は長尺製品 5 1 の曲がり具合を表現する。

【0048】

こうした重心線 5 9 は例えばベジエ曲線や B スプライン曲線、NURBS（非一様有理 B スプライン）曲線といったパラメトリック曲線で表現されることができる。こうした表現方法では、例えば図 1 2 に示されるように、曲線 6 1 の曲がり具合は複数の制御点 6 2、6 3 によって規定されることができる。こういった制御点 6 2、6 3 には、表現される曲線 6 1 上で座標値を与えるノット 6 2 が必ず含まれる。ノット 6 2 の配置は、隣接するノット 6 2 間を結ぶ直線 6 4 と、表現される曲線 6 1 との乖離すなわちトレランス TOL に基づき決定される。トレランス TOL が一定に保持される結果、曲率の大きな曲線 6 1 部分ではノット 6 2 の間隔は狭められ、反対に曲率の小さな曲線 6 1 部分ではノット 6 2 の間隔は広げられる。しかも、トレランス TOL が大きくなればノット 6 2 の間隔は広げられ、トレランス TOL が小さくなればノット 6 2 の間隔は狭められる。重心線 5 9 では、隣接するノット 6 2 の間で曲線 6 1 の長さは測定される。

【0049】

こうして重心線 5 9 に沿ってノット 6 2 の間隔が取得されると、NC 加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図 1 3 に示されるように、長尺製品 5 1 の三次元形状を特定する全体座標系 X Y Z に、固定型 1 2 を基準に特定される局部座標系すなわち機械座標系 x y z を規定する。こうした機械座標系 x y z は、前述のように重心線 5 9 上で特定されたノット 6 2 ごとに規定される断面 6 5 a ~ 6 5 g を基準に設定されればよい。

【0050】

各断面 6 5 a ~ 6 5 g を特定するにあたって、NC 加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図 1 4 に示されるように、各ノット 6 2 ごとに重心線 5 9 に対して接線ベクトル 6 6 を算出する。各ノット 6 2 では、この接線ベクトル 6 6 が直交する切断平面 6 7 が特定されることができる。この切断平面 6 7 に描き出される長尺製品 5 1 の断面形状によって各断面 6 5 a ~ 6 5 g は特定されることができる。こうしてパラメトリック曲線で表現される重心線 5 9 に従って各断面 6

5 a ~ 6 5 g が特定されると、長尺製品 5 1 の曲率が大きくなればなるほど断面 6 5 a ~ 6 5 g の枚数は増加し、きめ細かく可動型 1 3 の移動を制御することが可能となる。しかも、トレランス T O L の大きさを意図的に変更すれば、長尺製品 5 1 に要求される寸法精度に応じて断面 6 5 a ~ 6 5 g の枚数は意図的に変更されることが可能となる。

【 0 0 5 1 】

各切断平面 6 7 に長尺製品 5 1 の断面形状を描き出すにあたって、N C 加工プログラム作成ソフトウェアは、固定型 1 2 の貫通孔 2 4 と機械座標系 x y z との位置関係を取得する。この取得には例えば G U I が用いられればよい。すなわち、操作者は、例えば図 1 5 に示されるように、コンピュータ装置 4 3 の画面上に描き出された長尺製品 5 1 の断面形状に対して機械座標系 x y z を位置合わせすればよい。このとき、機械座標系 x y z の x 座標軸や y 座標軸の向きは、固定型 1 2 に形成される貫通孔 2 4 の形状すなわち中心軸 2 2 回りの向きに応じて設定される。z 座標軸の向きは固定型 1 2 の中心軸 2 2 に一致する。ここで、固定型 1 2 の中心軸 2 2 は、例えば長尺製品 5 1 の断面形状で特定される重心 G に一致する。その結果、前述のように長尺製品 5 1 の曲がり具合を表現する重心線 5 9 によって長尺製品 5 1 の軸心は特定されることができる。

【 0 0 5 2 】

各断面 6 5 a ~ 6 5 g ごとに機械座標系 x y z が設定されると、N C 加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図 1 6 に示されるように、重心線 5 9 に基づき可動型 1 3 の位置や姿勢を特定する。この特定にあたって、N C 加工プログラム作成ソフトウェアは、まず、機械座標系 x y z 上で固定型 1 2 および可動型 1 3 の間のアプローチ距離 L を特定する。このアプローチ距離 L は、固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口と、基準位置に位置決めされた可動型 1 3 との間で固定型 1 2 の中心軸 2 2 方向に沿って測定される。こうしたアプローチ距離 L は、例えば操作者の入力操作などを通じて予め N C 加工プログラム作成ソフトウェアに取り込まれればよい。

【 0 0 5 3 】

特定されたアプローチ距離 L に基づき機械座標系 x y z 上には可動型 1 3 の移

動平面HVが規定される。この移動平面HVを規定するにあたって、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、アプローチ距離Lに基づき機械座標系xyz上のz座標値を規定すればよい。その結果、機械座標系xyzのxy平面はz座標軸に沿ってアプローチ距離Lで平行移動させられる。こうして移動平面HVが規定されると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、移動平面HVと重心線59との交差点68でx座標値やy座標値を算出する。算出されたx座標値やy座標値によって可動型13の幾何的位置は特定されることができる。こうして特定された可動型13の幾何的位置には、単純に、形状データで特定される長尺製品51の三次元形状が反映される。

【0054】

このように機械座標系xyzに従って可動型13のx座標値やy座標値を取得するにあたっては、長尺製品51の三次元像が機械座標系xyzのyz平面やxz平面に投影されればよい。例えば図17に示されるように、長尺製品51の三次元像が機械座標系xyzのyz平面に投影されると、投影された三次元像と移動平面HVとの交差に基づき可動型13のy座標値は特定されることができる。このとき、移動平面HV上で長尺製品51の接線方向69が特定されれば、可動型13のx軸回り回転角Aが導き出されることができる。図18に示されるように、長尺製品51の三次元像が機械座標系xyzのxz平面に投影されると、同様に、投影された三次元像と移動平面HVとの交差に基づき可動型13のx座標値は特定されることができる。同時に、移動平面HV上で長尺製品51の接線方向70が特定されれば、可動型13のy軸回り回転角Bが導き出されることができる。

【0055】

こうして可動型13の位置や姿勢を特定すると同時に、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、各断面65a～65gに設定される機械座標系xyzに基づき固定型12の中心軸22回りの姿勢、すなわち、可動型13に対して軸心回りで相対回転する固定型12の軸心回り相対回転角を特定する。この特定にあたって、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、まず、隣接する機械座標系xyzに基づき、長尺製品51の軸心方向すなわち重心線59に沿って特定される単位

送り量当たりの軸心回り比捻れ角を算出する。

【0056】

この軸心回り比捻れ角の算出にあたって、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図19に示されるように、隣接する機械座標系 $x y z$ 同士の間で $x y$ 座標平面同士を互いに重ね合わせる。この重ね合わせにあたっては、例えば行列演算などを用いて1対の機械座標系 $x y z$ の間で z 座標軸の向きが揃えられればよい。こうした座標平面同士の重ね合わせにあたって、 $x y$ 座標平面および $x_1 y_1$ 座標平面では、全体座標系 $X Y Z$ に従って z 座標軸回りの回転角は保持される。したがって、重ね合わせられた $x y$ 座標平面および $x_1 y_1$ 座標平面に基づけば、1対の断面65a、65b同士の間で軸心回り捻れ角 θ は導き出されることができる。

【0057】

こうして隣接する断面65a～65g同士の間で軸心回り捻れ角 θ が算出されると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、前述のように断面65a～65g同士の間で測定される重心線59の長さ、すなわち、ノット62間で測定される曲線61の長さを用いて軸心回り比捻れ角 ψ を算出する。すなわち、軸心回り捻れ角 θ は重心線59の長さによって除算される。こうして算出された軸心回り比捻れ角 ψ は、例えば図20に示されるように、累積される重心線59の長さに対して次々とプロットされる。その結果、長尺製品51の軸心方向に沿って軸心回り比捻れ角 ψ の変動を示す分布曲線71は導き出される。ただし、この分布曲線71では、重心線59の長さで特定される軸心方向位置に固定型12が位置決めされた際に可動型13の位置で特定される軸心回り比捻れ角 ψ がプロットされる。

【0058】

続いてNC加工プログラム作成ソフトウェアは分布曲線71上で軸心回り比捻れ角 ψ の最大値72を検出する。この最大値72は、軸心回り比捻れ角 $\psi = 0$ で始まり軸心回り比捻れ角 $\psi = 0$ で終わる1捻り区間73内で検出される。最大値72が検出されると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、最大値72に至る分布曲線71aを単純増加曲線に描き直すと同時に、最大値72を通過した分

布曲線 7 1 b を単純減少曲線に描き直す。単純増加曲線によれば軸心回り比捻れ角 $\psi = 0$ から最大値 7 2 までに軸心回り比捻れ角 ψ は減少することではなく、単純減少曲線によれば最大値 7 2 から軸心回り比捻れ角 $\psi = 0$ までに軸心回り比捻れ角 ψ は増大することはない。最大値 7 2 に至る分布曲線 7 1 a や、最大値 7 2 を通過した分布曲線 7 1 b では、例えば図 2 1 に示されるように、極大値 7 5 とこの極大値 7 5 に隣接する極小値 7 6 とが平均化される。図 2 1 から明らかなように、平均化で描き出される直線 7 7 は、極小値 7 6 を含む分布曲線 7 1 との間に、極大値 7 5 を含む分布曲線 7 1 と直線 7 7 との間に区画される領域 7 8 と同一面積の領域 7 9 を区画する。

【0 0 5 9】

こうして分布曲線 7 1 が単純増加曲線および単純減少曲線で表現されると、NC 加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図 2 2 に示されるように、アプローチ距離 L に基づき加工域 8 1 を描き出す。この加工域 8 1 は、軸心方向すなわち重心線 5 9 の長さ方向にアプローチ距離 L を特定する上辺 8 2 と、この上辺 8 2 の両端に接続されて、傾斜度で軸心回り比捻れ角 ψ の許容変化率を特定する可動型側斜辺 8 3 および固定型側斜辺 8 4 とによって囲まれる。許容変化率は例えば固定型 1 2 の中心軸 2 2 回り最大回転速度に基づき決定される。

【0 0 6 0】

NC 加工プログラム作成ソフトウェアは、最大値 7 2 に至る分布曲線 7 1 a では、可動型 1 3 の位置を特定する上辺 8 2 の一端を基準に加工域 8 1 を分布曲線 7 1 に沿って移動させる。移動の間に上辺 8 2 の一端以外で加工域 8 1 が分布曲線 7 1 に交差すると、NC 加工プログラム作成ソフトウェアは、交差した領域で加工域 8 1 の外枠に沿って分布曲線 7 1 を描き直す。反対に、最大値 7 2 を通過した分布曲線 7 1 b では、固定型 1 2 の位置を特定する上辺 8 2 の他端を基準に加工域 8 1 は分布曲線 7 1 に沿って移動させられる。移動の間に上辺 8 2 の他端以外で加工域 8 1 が分布曲線 7 1 に交差すると、同様に、交差した領域で分布曲線 7 1 は加工域 8 1 の外枠に沿って描き直される。同時に、前述の最大値 7 2 を挟む分布曲線 7 1 は、例えば図 2 2 から明らかなように、加工域 8 1 に基づき、少なくともアプローチ距離 L にわたって均一な軸心回り比捻れ角 ψ を示す直線 8

5に描き直される。こうした直線 8 5によれば最大値 7 2を挟む分布曲線 7 1は平均化される。

【0 0 6 1】

こうして加工域 8 1に基づき完全に分布曲線 7 1が描き直されると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、重心線 5 9の長さに沿って各断面 6 5 a ~ 6 5 gごとに固定型 1 2の中心軸 2 2回り回転角を算出する。すなわち、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図 2 3から明らかなように、直線 8 5の入り口 8 6に至る分布曲線 7 1上で断面 6 5 a ~ 6 5 gごとに特定される軸心回り比捻れ角 ϕ に、可動型 1 3および固定型 1 2の間で測定されるアプローチ距離 L を掛け合わせる。この乗算によって固定型 1 2の z 軸回り回転角 C は導き出される。その一方で、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、直線 8 5の入り口 8 6を通過した分布曲線 7 1に基づき、断面 6 5 a ~ 6 5 gごとにアプローチ距離 L にわたって軸心回り比捻れ角 ϕ の積分値を算出する。この積分値によって固定型 1 2の z 軸回り回転角 C は特定されることができる。

【0 0 6 2】

ここで、以上のような捻れ加工の原理を簡単に説明する。いま、固定型 1 2が中心軸 2 2回りに回転角 $\theta 1$ で回転すると、例えば図 2 4に示されるように、固定型 1 2および可動型 1 3の間では長尺材 1 1に捻れ変形が引き起こされる。断面形状が均一であれば、固定型 1 2および可動型 1 3の間で長尺材 1 1は均等に捻れる。したがって、図 2 5に示されるように、アプローチ距離 L にわたって均一に比捻れ角 $\phi 1$ は分布する。比捻れ角 ϕ は、長尺材 1 1の軸心方向に沿った単位長さ当たりの捻れ角を意味する。

【0 0 6 3】

長尺材 1 1が微小距離 $D 1$ で軸心方向に送られると、可動型 1 3を通過した長尺材 1 1では前述の比捻れ角 $\phi 1$ は保持される。このとき、固定型 1 2が前述の回転角 $\theta 1$ よりも大きな回転角 $\theta 2$ で特定される姿勢を確立すると、固定型 1 2および可動型 1 3の間で長尺材 1 1は均一に捻れる結果、例えば図 2 6に示されるように、固定型 1 2および可動型 1 3の間には均一に比捻れ角 $\phi 2$ が分布する。この比捻れ角 $\phi 2$ が保持されたまま長尺材 1 1が再び微小距離 $D 2$ で可動型 1

3を通過すると、図27に示されるように、微小距離D1にわたって実現された比捻れ角 ϕ 1に続き、微小距離D2にわたって比捻れ角 ϕ 2は実現されることができる。

【0064】

こうして微小距離の送りと固定型12の回転とが連続的に繰り返されると、段階的に増加する比捻れ角 ϕ で長尺材11には捻れ変形が実現される。例えば軸心方向に長尺材11を連続的に送りながら滑らかに固定型12の回転角を変化させれば、前述のように、徐々に増加する捻れ角で捻られた長尺製品51は得られることができる。このとき、固定型12の回転角は、可動型13の位置で特定される比捻れ角 ϕ とアプローチ距離Lとの乗算によって導き出されることができる。

【0065】

続いて、前述のように均一な比捻れ角 ϕ 1で長尺材11が捻られた後に固定型12に加えられる拘束力を解放し、中心軸22回りで固定型12の回転を許容しつつ長尺材11が微小距離D1で送られる場面を想定する。すると、図28に示されるように、微小距離D1で送られる間に固定型12を通過する長尺材11で捻れは生じない。捻れた長尺材11が可動型13を通過する結果、長尺材11には、固定型12の回転角 θ 1とは反対向きに軸心回りの回転角 θ 3が生じる。固定型12の回転角は $(\theta 1 - \theta 3)$ に減少する。図29に示されるように、微小距離D1で送られる間に固定型12を通過する長尺材11は比捻れ角 $\phi = 0$ を維持する。

【0066】

その後、固定型12に加えられる拘束力を復帰させ中心軸22回りで固定型12を強制的に回転させると、例えば図30に示されるように、予め捻れ変形が施された領域では、加工硬化に起因して、比捻れ角 ϕ 1に達するまで捻れ変形は引き起こされない。このとき、長尺材11では、前述と同様に、微小距離D1にわたって均一に捻れが生じる。その結果、微小距離D1では均一な比捻れ角 ϕ 4が分布する。固定型12の回転角は、図30から明らかなように、固定型12および可動型13の間でアプローチ距離Lにわたって算出される比捻れ角 ϕ の積分値

によって特定されることができる。

【0067】

続いて微小距離D2で再び軸心方向に長尺材11を送り出し、前述と同様に、固定型12を通過した長尺材11で比捻れ角 $\psi = 0$ を維持させる。その後、中心軸22回りで固定型12を強制的に回転させると、例えば図31に示されるように、微小距離D1にわたって実現された比捻れ角 ψ_4 に続き、微小距離D2にわたって比捻れ角 ψ_5 は実現されることができる。ただし、比捻れ角 ψ_5 は、先行する比捻れ角 ψ_4 よりも小さくしなければならない。

【0068】

こうして微小距離の送りと固定型12の回転とが連続的に繰り返されると、段階的に減少する比捻れ角 ψ で長尺材11には捻れ変形が実現される。例えば軸心方向に長尺材11を連続的に送りながら滑らかに固定型12の回転角を変化させれば、前述のように、徐々に減少する捻れ角で捻られた長尺製品51は得られることができる。

【0069】

以上のように各断面65a～65gごとに固定型12の姿勢および可動型13の位置や姿勢が特定されると、例えば図32に示されるように、隣接する断面65a、65bの間では中立軸91が描き出される。こうした中立軸91を描き出すにあたって、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、各断面65a、65bに沿って重心線59すなわち重心55から中立軸91までの乖離量 η を算出する。乖離量 η の算出工程の詳細は後述される。NC加工プログラム作成ソフトウェアは、算出された乖離量 η と重心線59とに基づき中立軸91を描き出す。

【0070】

重心線59を基準に中立軸91を描き出すにあたって、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、各断面65a、65b上で重心線59の方向ベクトルを特定する。こうした方向ベクトルは断面65a、65bに沿って乖離量 η で平行移動させられる。その結果、隣接する2枚の断面65a、65b同士の間では始点ベクトルおよび終点ベクトルが特定される。こうして特定された始点ベクトルおよび終点ベクトルの間に重心線59と同一次数のパラメトリック曲線が描き出され

る。パラメトリック曲線は始点ベクトルから終点ベクトルに向かって等変化率で曲率を変化させることができる。こうしたパラメトリック曲線によって中立軸 9 1 は表現される。こうした処理が全ての断面 6 5 a ~ 6 5 g の間で実現されると、長尺材 1 1 の全長にわたって中立軸 9 1 は描き出されることができる。

【 0 0 7 1 】

隣接する断面 6 5 a、6 5 b 同士の間では長尺材 1 1 の送り量は中立軸 9 1 の長さ S_1 によって表現されることができる。こうした中立軸 9 1 の長さ S_1 を基準に長尺材 1 1 の送り位置 W は決定される。言い換えれば、重心線 5 9 の長さを基準に特定された各断面 6 5 a ~ 6 5 g の位置、すなわち、重心線 5 9 に沿って特定される各ノット 6 2 の位置は中立軸 9 1 の長さ S_1 に基づき補正される。ここでは、重心線 5 9 の長さ S_2 に中立軸 9 1 の長さ S_1 が代入された後、各断面 6 5 a ~ 6 5 g の位置が特定されればよい。

【 0 0 7 2 】

一般に、押し通し曲げ加工機 1 0 では、例えば図 3 3 に示されるように、固定型 1 2 から送り出される長尺材 1 1 に可動型 1 3 で曲げ加工が施されると、送りの反力によって長尺材 1 1 には軸方向圧縮力 P_c が加えられてしまう。こうした軸方向圧縮力 P_c は長尺材 1 1 の長さに変動を引き起こす。こうした長さの変動は曲げの曲率 $1/R$ すなわち曲率半径 R の大きさに応じて変化する。その一方で、長尺材 1 1 の曲がり具合すなわち曲率 $1/R$ の大きさに拘わらず中立軸 9 1 では軸方向に歪みは生じない。したがって、加工前と加工後とで中立軸 9 1 の長さ S_1 は一定に維持される。こうした中立軸 9 1 を基準に特定される各送り位置 W に可動型 1 3 の x 座標値や y 座標値、 y 軸回り回転角 B 、 x 軸回り回転角 A 、固定型 1 2 の z 軸回り回転角 C が関連付けられると、精度の高い長尺製品 5 1 が得られることができる。

【 0 0 7 3 】

しかも、前述のように、可動型 1 3 の幾何的位置は、押し通し曲げ加工機 1 0 の固定型 1 2 を基準に特定される機械座標系 $x y z$ すなわち局部座標系に従って決定される。局部座標系は、長尺製品 5 1 の長手方向に規定される送り位置が変化するたびに規定し直される。したがって、固定型 1 2 と可動型 1 3 との間に形

成される長尺製品 5 1 の曲げ変形が必ず盛り込まれた上で可動型 1 3 の x 座標値や y 座標値は特定される。

【0 0 7 4】

ここで、乖離量 η の算出方法を詳述する。この乖離量 η は、以下に示されとおり、各断面 6 5 a ~ 6 5 g ごとに特定される長尺製品 5 1 の曲率 $1/R$ に基づき導き出されることができる。いま、例えば図 3 3 に示されるように、可動型 1 3 で長尺材 1 1 に対して曲げ加工が施されると、可動型 1 3 には曲げ変形の反力で曲率半径方向に荷重 F が作用する。このとき、固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口では長尺材 1 1 内で軸方向に軸方向圧縮力 P_c が特定されると、

【数 1】

$$P_c = Fz = F \tan \phi = \frac{M}{L} \tan \phi$$

が得られる。ここで、軸方向圧縮力 P_c は、固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口で特定される長尺材 1 1 の公称応力分布 $\sigma(h)$ の総和に等しい。したがって、例えば固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口で曲率 $1/R$ が特定されると、図 3 4 から明らかなように、

【数 2】

$$P_c = \int_{h1}^{h2} \sigma(h) dA$$

は得られる。ただし、変数 h は、曲率半径方向に測定される中立軸 9 1 からの距離を示し、係数 A は、長尺製品 5 1 すなわち長尺材 1 1 の断面積を示す。このとき、曲げモーメント M は、

【数 3】

$$M = \int_{h1}^{h2} \sigma(h) h dA$$

によって表現されることから、式【数 1】に式【数 2】および式【数 3】が代入されると、

【数 4】

$$\int_{h1}^{h2} \sigma(h) dA = \frac{\int_{h1}^{h2} \sigma(h) h dA}{L} \tan \phi$$

は得られる。この式〔数 4〕が整理されると、

【数 5】

$$\int_{h1}^{h2} \sigma(h) \left(1 - \frac{h}{L} \tan \phi\right) dA = 0$$

は導き出される。

【0 0 7 5】

前述の曲げモーメントMを特定するにあたって、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、長尺製品 5 1 すなわち加工中の長尺材 1 1 の断面に沿って特定される公称応力分布 $\sigma(h)$ および公称歪み分布 $e(h)$ を利用する。図 3 4 から明らかなように、公称歪み分布 $e(h)$ は、長尺製品 5 1 すなわち長尺材 1 1 の断面上で曲率半径方向に沿って直線的に変化する。したがって、公称歪み分布 $e(h)$ は、断面上で特定される重心 5 5 および中立軸 9 1 の位置に基づき幾何学的に導き出されることができる。すなわち、曲率半径 R で重心線 5 9 が描かれ、断面上で曲率半径方向に沿って重心 5 5 から中立軸 9 1 までに乖離量 η が特定されると、公称歪み分布 $e(h)$ は、

【数 6】

$$e(h) = \frac{h}{R + \eta}$$

によって表現されることができる。

【0 0 7 6】

その一方で、こうして特定された公称歪み分布 $e(h)$ によれば、公称応力分布 $\sigma(h)$ は、

【数 7】

$$\sigma(h) = C3 \cdot e(h)^3 + C2 \cdot e(h)^2 + C1 \cdot e(h) + C0$$

によって表現されることができる。式〔数 7〕中、係数 C 3、C 2、C 1、C 0

は、例えば図 3 5 に示されるように、引っ張り試験で描き出される応力歪み曲線（S-S 曲線）9 3 に基づき決定される。すなわち、式 [数 7] の多項式によれば、応力歪み曲線 9 3 に対する近似曲線 9 4 は導き出される。式 [数 7] に示される多項式は、例えば、引っ張り試験で得られた応力歪み曲線 9 3 の最大強度点 9 5 や降伏点 9 6、両者の中間点 9 7 といった 3 点によって簡単に特定されることができる。

【0 0 7 7】

NC 加工プログラム作成ソフトウェアは、式 [数 5] に従って数値積分を実施する。この数値積分の実施にあたって、NC 加工プログラム作成ソフトウェアは、前述の式 [数 5] に、式 [数 6] および式 [数 7] で表現される曲率 $1/R$ と乖離量 η との関係を代入する。こうして式 [数 6] および式 [数 7] が式 [数 5] に代入された上で数値積分および収束計算が実施されると、特定された断面上で重心 5 5 から中立軸 9 1 までの乖離量 η は算出されることができる。

【0 0 7 8】

その他、中立軸 9 1 を特定するにあたって、NC 加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図 3 6 に示されるように、実測データに基づき乖離量 η を導き出してもよい。この実測データによれば、

【数 8】

$$\eta = \alpha H = (K1 \cdot \tan \phi) H = (K1 \cdot \tan \phi)(h2 - h1)$$

に従って乖離量 η は算出されることができる。ここで、係数 α は、各断面で曲率半径方向に測定される長尺材 1 1 の高さ $H (= h2 - h1)$ に対する乖離量 η の比率すなわち移動率を表す。長尺材 1 1 の高さ H に移動率 α が掛け合わせられると、中立軸 9 1 の乖離量 η は算出される。移動率 α を特定するにあたっては、実測データに基づき算出される比例係数 $K1$ が用いられればよい。

【0 0 7 9】

比例係数 $K1$ を取得するにあたっては、様々な断面形状や材質、大きさで特定される長尺材 1 1 が実際に押し通し曲げ加工機 1 0 で加工されればよい。このとき、加工中の可動型 1 3 の傾斜角 ϕ や変形後の長尺材 1 1 の長さは実測される。

こうして実測された可動型 1 3 の傾斜角 ϕ に対して中立軸 9 1 の移動率 α がプロットされると、例えば図 3 6 に示される実測データは得られることができる。ここでは、2 種類のアルミニウム材（J I S 6 0 6 3 - T 1 および J I S 6 0 6 3 - T 5）に対して傾斜角 ϕ は実測された。実測にあたって、各アルミニウム材ごとに断面形状や大きさは変更された。しかも、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間で 4 通りのアプローチ距離 $L = 50 \text{ mm}$ 、 60 mm 、 70 mm 、 90 mm が設定された。この実測データによれば、長尺材 1 1 の断面形状や材料特性の違いに拘わらず、乖離量 η を算出するにあたって同一の係数 $K 1$ が用いられることができることが明らかとされる。

【0080】

さらに、NC 加工プログラム作成ソフトウェアは、様々な要因を考慮して前述の幾何的位置に修正を加え、設計どおりに精度の高い長尺製品 5 1 を生み出す可動型 1 3 の実加工位置を導き出す。こうした実加工位置を導き出すにあたって、NC 加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図 3 7 に示されるように、長尺材 1 1 の弾性曲げ復元力すなわちスプリングバックに起因する弾塑性曲げ変形量を特定する。

【0081】

図 3 7 から明らかなように、こうした弾塑性曲げ変形量を特定するにあたって、NC 加工プログラム作成ソフトウェアは、まず、形状データで特定される加工後の長尺製品 5 1 の製品曲率 $1/Rb$ を取得する。ここで、 Rb は曲率半径を示す。この製品曲率 $1/Rb$ は、前述のように機械座標系 $x y z$ 上で特定された可動型 1 3 の幾何的位置に基づき算出されればよい。すなわち、図 3 7 で示される座標系は、機械座標系 $x y z$ の座標原点と可動型 1 3 の幾何的位置とを含む 1 平面に沿って規定される。ここでは、製品曲率 $1/Rb$ は、固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口と可動型 1 3 との間に測定される平均曲率によって代表される。

【0082】

続いて、NC 加工プログラム作成ソフトウェアは、製品曲率 $1/Rb$ に基づき長尺材 1 1 に加えられる曲げモーメントを算出する。曲げモーメントには、固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口と可動型 1 3 との間に特定される曲げモーメント分布

が用いられればよい。ここでは、こうした曲げモーメントに、固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口から可動型 1 3 までの平均曲げモーメントが用いられる。こういった平均曲げモーメントには、例えば図 3 7 から明らかなように、固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口で算出される最大曲げモーメント M の 2 分の 1 の値が用いられればよい。最大曲げモーメント M は前述の式 [数 3] に基づき導き出されることができる。その際、前述のように算出された乖離量 η や式 [数 6] および式 [数 7] などが参照されればよい。

【0083】

算出された最大曲げモーメント M に基づき、NC 加工プログラム作成ソフトウェアは弾塑性曲げ変形量を算出する。弾塑性曲げ変形量は、例えば次式に従って算出されることができる。

【0084】

【数 9】

$$\frac{1}{R_c} = \frac{M}{2EI} + \frac{1}{R_b}$$

この式 [数 9] によれば、弾塑性曲げ変形量は、形状データで特定される加工後の長尺製品 5 1 の製品曲率 $1/R_b$ を実現する際に必要とされる加工中の実曲率 $1/R_c$ すなわち実曲率半径 R_c によって表現される。ここで、係数 E は長尺材 1 1 のヤング率（縦弾性係数）を示し、係数 I は長尺材 1 1 の断面二次モーメントを示す。

【0085】

こういったヤング率 E や断面二次モーメント I は操作者の入力操作に基づき予め NC 加工プログラム作成ソフトウェアに取り込まれていればよい。このとき、断面二次モーメント I は、前述のように長尺材 1 1 の断面形状に重ね合わせられた機械座標系 $x y z$ を基準に算出されてもよい。指定された機械座標系 $x y z$ に従って x 軸回りの断面二次モーメント I_x や y 軸回りの断面二次モーメント I_y 、断面相乗モーメント J_{xy} が算出されると、次式に従って、曲げ方向を規定する従法線ベクトル b 回りで断面二次モーメント I_b は算出されることができる。

【0086】

【数10】

$$I_b = I_x \cos^2 \theta_{b-x} + I_y \sin^2 \theta_{b-x} + J_{xy} \sin 2\theta_{b-x}$$

ただし、 θ_{b-x} は、機械座標系 $x y z$ の x 座標軸と従法線ベクトル b との間で反時計回りに特定される角度を示す。ここで、断面二次モーメント I_x 、 I_y および断面相乗モーメント J_{xy} は、

【数11】

$$I_x = \int_A x^2 dA$$

$$I_y = \int_A y^2 dA$$

$$J_{xy} = \int_A xy dA$$

によって算出されることができる。こうして算出される断面二次モーメント I_b によれば、長尺材 11 の各断面ごとに曲げ方向に応じて適切な断面二次モーメント I は特定されることができる。

【0087】

実曲率 $1/R_c$ が特定されると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、実曲率 $1/R_c$ で描き直される重心線 101 に基づき可動型 13 の実加工位置 102 を特定する。この実加工位置 102 は、機械座標系 $x y z$ に従って x 座標値や y 座標値で表現されてもよく、重心線 59 に基づく幾何的位置 103 との差分値によって表現されてもよい。

【0088】

一般に、アルミニウム材を始めとする長尺材 11 は弾性変形を経て塑性変形に至る。可動型 13 から曲げ変形が加えられても、塑性変形に至る歪みが長尺材 11 に生じなければ、長尺材 11 が可動型 13 から解放されると同時に弾性復元力いわゆるスプリングバックに応じて加工後の長尺製品 51 に形状誤差が生じてしまう。前述のように導き出された弾塑性曲げ変形量に応じて可動型 13 の実加工位置が特定されれば、そういった弾性復元力いわゆるスプリングバックに起因する長尺製品 51 の形状誤差は十分に解消されることができる。特に、そういった

弾塑性曲げ変形量は曲げモーメントMに基づき幾何学的に算出されることから、実測データの収集といった手間をできる限り省くことが可能となる。

【 0 0 8 9 】

以上のような弾塑性曲げ変形量に加えて、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図38に示されるように、固定型12側貫通孔24の出口で長尺材11の出口回り折れ角量 θ を特定してもよい。こういった出口回り折れ角量 θ は、貫通孔24の出口で生じる弾性折れ変形や塑性折れ変形といった剪断変形や断面変形すなわち窪み104によって引き起こされる。出口回り折れ角量 θ が特定されると、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、機械座標系xyzに従って貫通孔24の出口回りで重心線59を回転させる。重心線59は、機械座標系xyzの座標原点と可動型13の幾何的位置とを含む1平面に沿って出口回り折れ角量 θ で回転すればよい。NC加工プログラム作成ソフトウェアは、回転した重心線59と移動平面HVとの交点に基づき可動型13の実加工位置105を特定する。この実加工位置105は、機械座標系xyzに従ってx座標値やy座標値で表現されてもよく、重心線59に基づく幾何的位置との差分値によって表現されてもよい。

【 0 0 9 0 】

特に、中空の長尺材11では、固定型12および可動型13の間で曲げ変形が引き起こされる際に、固定型12側貫通孔24の出口で長尺材11に大きな剪断力が作用する。こういった剪断力は固定型12側貫通孔24の出口で弾性折れ変形や塑性折れ変形といった剪断変形を引き起こす。しかも、固定型12側貫通孔24の出口では長尺材11に断面変形すなわち窪み104が生じてしまう。こうした窪み104によれば、固定型12側貫通孔24の出口で折れ変形は引き起こされる。これら剪断変形や断面変形に起因する折れ変形が引き起こされる結果、固定型12および可動型13の間では形状データに基づく幾何的な位置関係どおりに十分な曲げ変形は引き起こされることはできない。長尺材11が可動型13から解放されると同時に折れ変形に応じて加工後の長尺製品51に形状誤差が生じてしまう。前述のように導き出された出口回り折れ角量 θ に応じて可動型13の実加工位置105が特定されれば、そういった出口回りの折れ角に起因する長

尺製品 5 1 の形状誤差は十分に解消されることができる。

【0 0 9 1】

ここで、出口回り折れ角量 θ は、例えば図 3 9 に示されるように、実測データに基づき特定されればよい。この実測データによれば、

【数 1 2】

$$\theta = K 2 \frac{M}{EI}$$

に従って出口回り折れ角量 θ [°] は算出されることができる。ここで、係数 $K 2$ は、実測データに基づき算出される比例係数を示す。

【0 0 9 2】

こうした実測データを取得するにあたっては、様々な断面形状や材質、大きさで特定される長尺材 1 1 が実際に押し通し曲げ加工機 1 0 で加工されればよい。このとき、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間で長尺材 1 1 の形状は実測される。こうした実測によって曲げ変形の曲率は明らかとされる。例えば図 3 8 から明らかなように、曲げ変形の曲率半径 $R d$ を導き出すにあたって、少なくとも 3 点の計測点 1 0 6 が選択されればよい。

【0 0 9 3】

こうして固定型 1 2 および可動型 1 3 の間で長尺材 1 1 の曲げ変形を表現する曲線 1 0 7 が特定されると、固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口で曲線 1 0 7 に対する接線 1 0 8 が描き出される。この接線 1 0 8 と機械座標系 $x y z$ の z 座標軸との角度によって出口回り折れ角量 θ は特定されることができる。こうして実測された出口回り折れ角量 θ が係数 M/EI に対してプロットされると、図 3 9 に示される実測データは得られることができる。ここでは、3 種類のアルミニウム材（J I S 6 0 6 3 - O、J I S 6 0 6 3 - T 1 および J I S 6 0 6 3 - T 5）に対して出口回り折れ角量 θ が実測された。実測にあたって、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間で 3 通りのアプローチ距離 $L = 60 \text{ mm}$ 、 90 mm 、 133 mm が設定された。この実測データによれば、長尺材 1 1 の断面形状や材料特性の違いに拘わらず、出口回り折れ角量 θ を算出するにあたって同一の係数 $K 2$ が用いられることができることが明らかとされる。

【0094】

同様に、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図40に示されるように、固定型12側貫通孔24の出口で長尺材11の断面変形すなわち窪み104に起因する断面変形量d1を同時に特定してもよい。特定された断面変形量d1は、曲率半径方向すなわち曲げ方向に沿って前述の幾何的位置に加えられるとよい。こうして幾何的位置に断面変形量d1が加えられると、可動型13の実加工位置は特定されることができる。この実加工位置は、前述と同様に、機械座標系x y zに従ってx座標値やy座標値で表現されてもよく、重心線59に基づく幾何的位置との差分値によって表現されてもよい。

【0095】

特に、中空の長尺材11では、固定型12および可動型13の間で曲げ変形が引き起こされる際に、固定型12側貫通孔24の出口で断面変形が生じてしまう。こうした断面変形には、前述の窪み104のほか、曲率半径方向に沿った断面の潰れなどが含まれる。こうした断面変形が引き起こされている間に可動型13が移動しても、長尺材11には十分な塑性曲げ変形は生じることはない。したがって、固定型12および可動型13の間では形状データに基づく幾何的な位置関係どおりに十分な曲げ変形は引き起こされることはできず、加工後の長尺製品51に形状誤差が生じてしまう。前述のように導き出された断面変形量d1に応じて可動型13の実加工位置が特定されれば、そういった断面変形に起因する長尺製品51の形状誤差は十分に解消されることができる。

【0096】

ここで、断面変形量d1は、例えば図41に示されるように、実測データに基づき特定されればよい。この実測データによれば、

【数13】

$$d1 = K3 \cdot F = K3 \frac{M}{L}$$

に従って断面変形量d1 [mm] は算出されることができる。ここで、係数K3は、実測データに基づき算出される比例係数を示す。

【0097】

こうした実測データを取得するにあたっては、様々な断面形状や材質、大きさに特定される長尺材 1 1 が実際に押し通し曲げ加工機 1 0 で加工されればよい。このとき、固定型 1 2 側貫通孔 2 4 の出口で長尺材 1 1 の断面形状は実測される。こうして実測された断面変形量 d_1 が荷重 F に対してプロットされると、図 4 1 に示される実測データは得られることができる。ここでは、2 種類のアルミニウム材（J I S 6 0 6 3 - T 1 および J I S 6 0 6 3 - T 5）に対して断面変形量 d_1 は実測された。実測にあたって、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間で 3 通りのアプローチ距離 $L = 60\text{ mm}$ 、 90 mm 、 133 mm が設定された。この実測データによれば、長尺材 1 1 の断面形状や材料特性の違いに拘わらず、断面変形量 d_1 を算出するにあたって同一の係数 K_3 が用いられることができることが明らかとされる。

【0098】

さらに、NC加工プログラム作成ソフトウェアは、例えば図 4 2 に示されるように、固定型 1 2 および可動型 1 3 に対する長尺材 1 1 のクリアランス量 d_2 すなわちガタに起因するクリアランス量を特定してもよい。特定されたクリアランス量 d_2 は、曲率半径方向すなわち曲げ方向に沿って前述の幾何的位置に加えられるべき。こうして幾何的位置にクリアランス量 d_2 が加えられると、可動型 1 3 の実加工位置は特定されることができる。この実加工位置は、前述と同様に、機械座標系 $x y z$ に従って x 座標値や y 座標値で表現されてもよく、重心線 5 9 に基づく幾何的位置との差分値によって表現されてもよい。

【0099】

クリアランス量 d_2 [mm] は実測値に基づき特定されればよい。実測値を取得するにあたっては、様々な断面形状や材質、大きさに特定される長尺材 1 1 が実際に押し通し曲げ加工機 1 0 で加工されればよい。このとき、可動型 1 3 が移動し始めてから、長尺材 1 1 が固定型 1 2 側貫通孔 2 4 に接触するまでに可動型 1 3 の移動距離は測定される。こうして測定された移動距離によってクリアランス量 d_2 は特定されることができる。例えばクリアランス量 d_2 は長尺材 1 1 の寸法公差の大きさに応じて分類されることが望ましい。すなわち、クリアランス

量 d 2 の実測に先立って長尺材 1 1 の外形寸法は実測される。実測された外形寸法ごとに長尺材 1 1 のクリアランス量 d 2 は実測される。

【0 1 0 0】

一般に、長尺材 1 1 の寸法精度には所定範囲の公差すなわちばらつきが許容される。こういった公差に拘わらず固定型 1 2 や可動型 1 3 の貫通孔 2 4、2 8 に対して長尺材 1 1 を確実に通過させるには、長尺材 1 1 の設計寸法と貫通孔 2 4、2 8 の寸法との間にクリアランスすなわちガタを持たせる必要がある。たとえ公差が存在しなくても、固定型 1 2 や可動型 1 3 の貫通孔 2 4、2 8 に対して長尺材 1 1 をスムーズに通過させるには、長尺材 1 1 の外形と貫通孔 2 4、2 8 の内面との間にクリアランスすなわちガタを持たせる必要がある。こうしたクリアランスが解消されて固定型 1 2 や可動型 1 3 が完全に長尺材 1 1 に接触するまで、可動型 1 3 が移動しても長尺材 1 1 には実質的に曲げ変形は生じることはない。したがって、固定型 1 2 および可動型 1 3 の間では形状データに基づく幾何的な位置関係どおりに十分な曲げ変形は引き起こされることはできず、加工後の長尺製品 5 1 に形状誤差が生じてしまう。前述のように導き出されたクリアランス量 d 2 に応じて可動型 1 3 の実加工位置が特定されれば、そういったクリアランスすなわちガタに起因する長尺製品 5 1 の形状誤差は十分に解消されることができ。ただし、実加工位置を特定するにあたって使用されるクリアランス量 d 2 は、固定型 1 2 および可動型 1 3 で生じる 2 つのクリアランス量の総和を表現する必要がある。

【0 1 0 1】

【発明の効果】

以上のように本発明によれば、従来の曲げ加工に加えて、できる限り設計どおりに捻れ加工を実現することができる押し通し曲げ加工機は提供されることができ。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 押し通し曲げ加工機の全体構成を概略的に示す側面図である。

【図 2】 固定型の拡大正面図である。

【図 3】 可動型の拡大正面図である。

【図 4】 押し通し曲げ加工システムの全体構成を概略的に示す模式図である。

【図 5】 機械座標系の概念を示す固定型の斜視図である。

【図 6】 長尺製品の構造を概略的に示す斜視図である。

【図 7】 NC 加工プログラムの一具体例を示す図である。

【図 8】 二次元データで表現される長尺製品の断面形状を示す平面図である。

【図 9】 三次元データで表現される長尺製品の稜線を示す概念図である。

【図 1 0】 2 本のガイド線に基づき特定される重心線すなわち軸心を示す概念図である。

【図 1 1】 長尺製品の曲がり具合を表現する重心線すなわち軸心を示す概念図である。

【図 1 2】 重心線上で特定される制御点を示す概念図である。

【図 1 3】 長尺製品の各断面ごとに関連付けられる機械座標系を示す透視図である。

【図 1 4】 重心線に基づき特定される長尺製品の断面を示す概念図である。

【図 1 5】 断面に対する機械座標系の向きを設定するにあたって用いられる GUI (グラフィカルユーザインターフェース) を概略的に示す図である。

【図 1 6】 重心線に基づき特定される可動型の位置を示す概念図である。

【図 1 7】 $y z$ 平面に投影された長尺製品から y 座標値を算出する工程を示す概念図である。

【図 1 8】 $x z$ 平面に投影された長尺製品から x 座標値を算出する工程を示す概念図である。

【図 1 9】 隣接する断面同士の間で長尺製品の捻れを算出する原理を示す図である。

【図 2 0】 長尺製品の軸心方向に沿って軸心回り比捻れ角の変動を特定する分布曲線を示すグラフである。

【図 2 1】 単純増加曲線および単純減少曲線で描き直された分布曲線を示すグラフである。

【図 2 2】 押し通し曲げ加工機の加工特性に応じて分布曲線を描き直す原理を示すグラフである。

【図 2 3】 描き出された分布曲線に基づき固定型の z 軸回り回転角を算出する原理を示すグラフである。

【図 2 4】 固定型および可動型の間で捻られる長尺材の捻れ角を示すグラフである。

【図 2 5】 固定型および可動型の間で捻られる長尺材の比捻れ角の分布を示すグラフである。

【図 2 6】 軸心方向に微小距離 D_1 で送られた後に長尺材の比捻れ角の分布を示すグラフである。

【図 2 7】 軸心方向に微小距離 D_2 で再び送られた後に長尺材の比捻れ角の分布を示すグラフである。

【図 2 8】 固定型および可動型の間で捻られた後に軸心方向に微小距離 D_1 で送られた長尺材の捻れ角を示すグラフである。

【図 2 9】 固定型および可動型の間で捻られた後に軸心方向に微小距離 D_1 で送られた長尺材の比捻れ角の分布を示すグラフである。

【図 3 0】 微小距離 D_1 で送られた後に固定型および可動型の間で捻られた長尺材の比捻れ角の分布を示すグラフである。

【図 3 1】 再び微小距離 D_2 で送られた後に固定型および可動型の間で捻られた長尺材の比捻れ角の分布を示すグラフである。

【図 3 2】 隣接する断面の間で特定される重心軸および中立軸を示す長尺製品の一部拡大側面図である。

【図 3 3】 可動型に加えられる荷重と可動型の傾斜角との関係を示す概念図である。

【図 3 4】 長尺材の公称応力分布および公称歪み分布を示す図である。

【図 3 5】 応力歪み曲線の近似曲線を算出する工程を示す概念図である。

【図 3 6】 可動型の傾斜角と中立軸の移動率との関係を示すグラフである。

【図 3 7】 弾塑性曲げ変形量を算出する工程を示す概念図である。

【図 3 8】 剪断変形および断面変形に起因する出口回り折れ角量の概念図である。

【図 3 9】 出口回り折れ角量の実測データを示すグラフである。

【図 4 0】 断面変形量の概念図である。

【図 4 1】 断面変形量の実測データを示すグラフである。

【図 4 2】 クリアランスすなわちガタの概念図である。

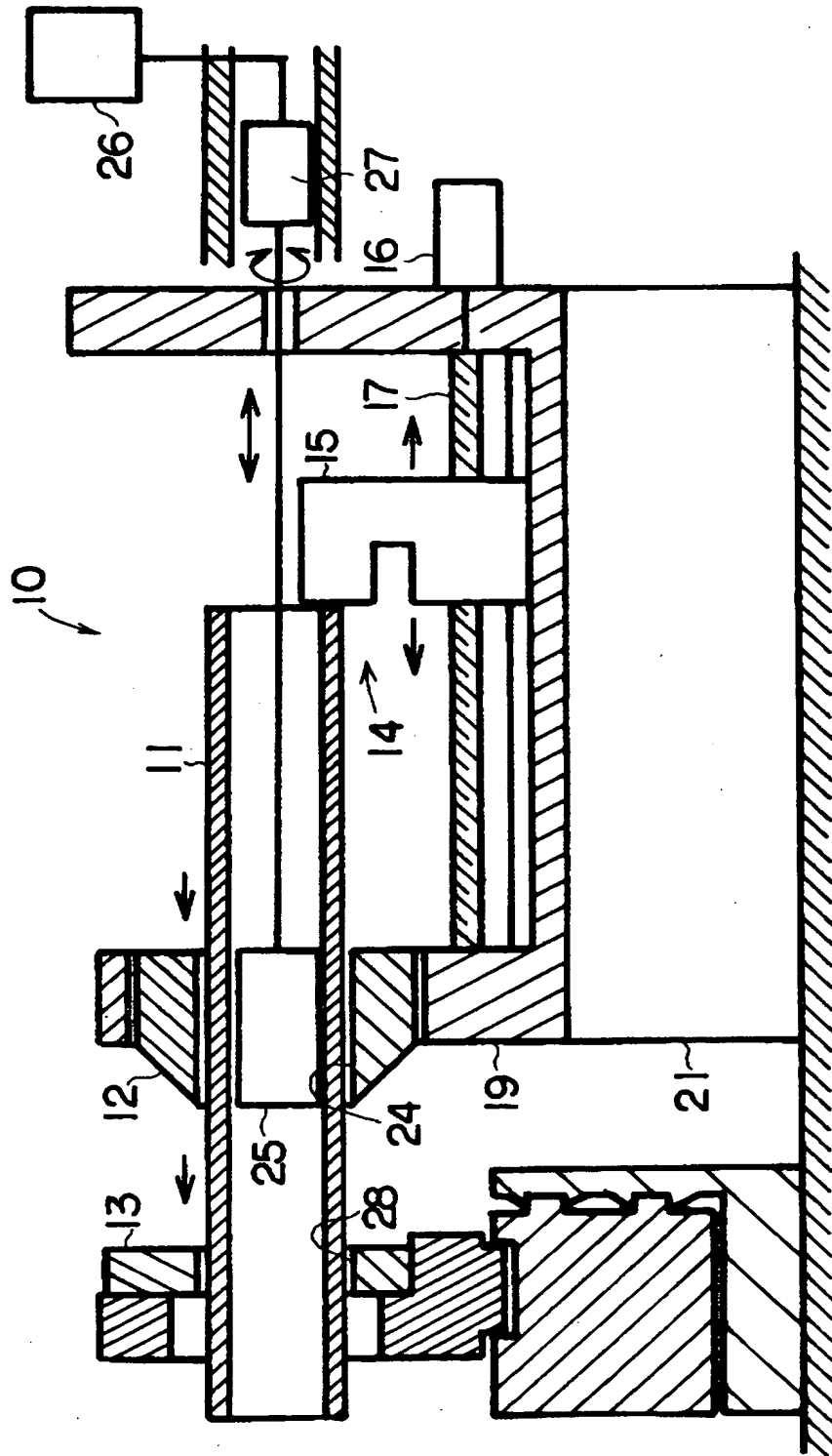
【符号の説明】

1 0 押し通し曲げ加工機、1 1 長尺材（形材）、1 2 固定型、1 3 可動型、4 3 コンピュータ装置、4 4 記録媒体としてのフロッピーディスク（FD）、4 5 記録媒体としてのコンパクトディスク（CD）、5 1 長尺製品、5 3 a, 5 3 b ガイド線、5 9 軸心としての重心線、6 2 制御点としてのノット、6 5 a～6 5 g 断面、6 8 交差点、9 1 中立軸、S 1 中立軸の長さ、S 2 重心線の長さ。

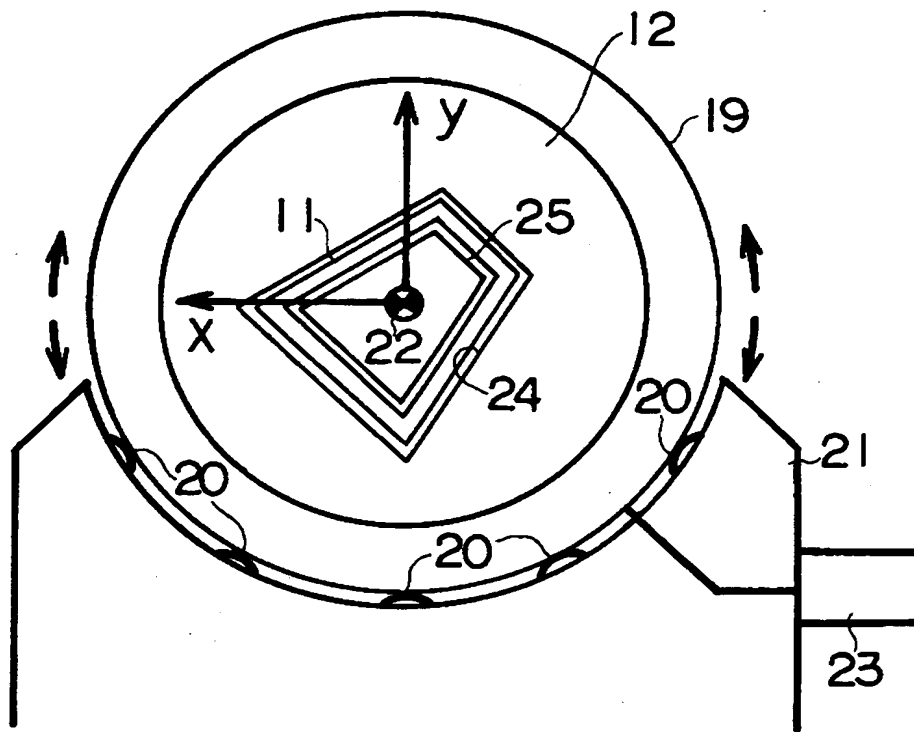
【書類名】

図面

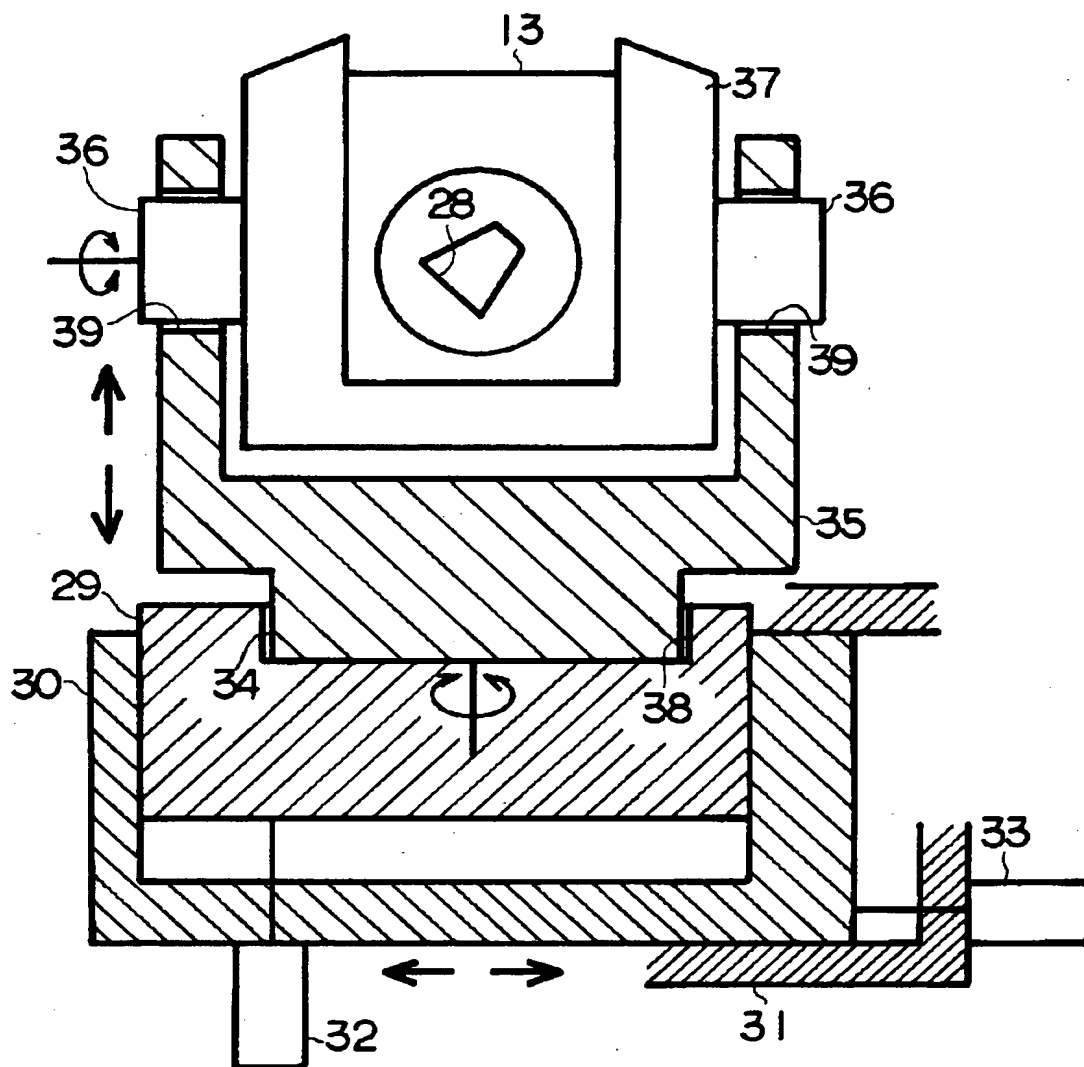
【図 1】



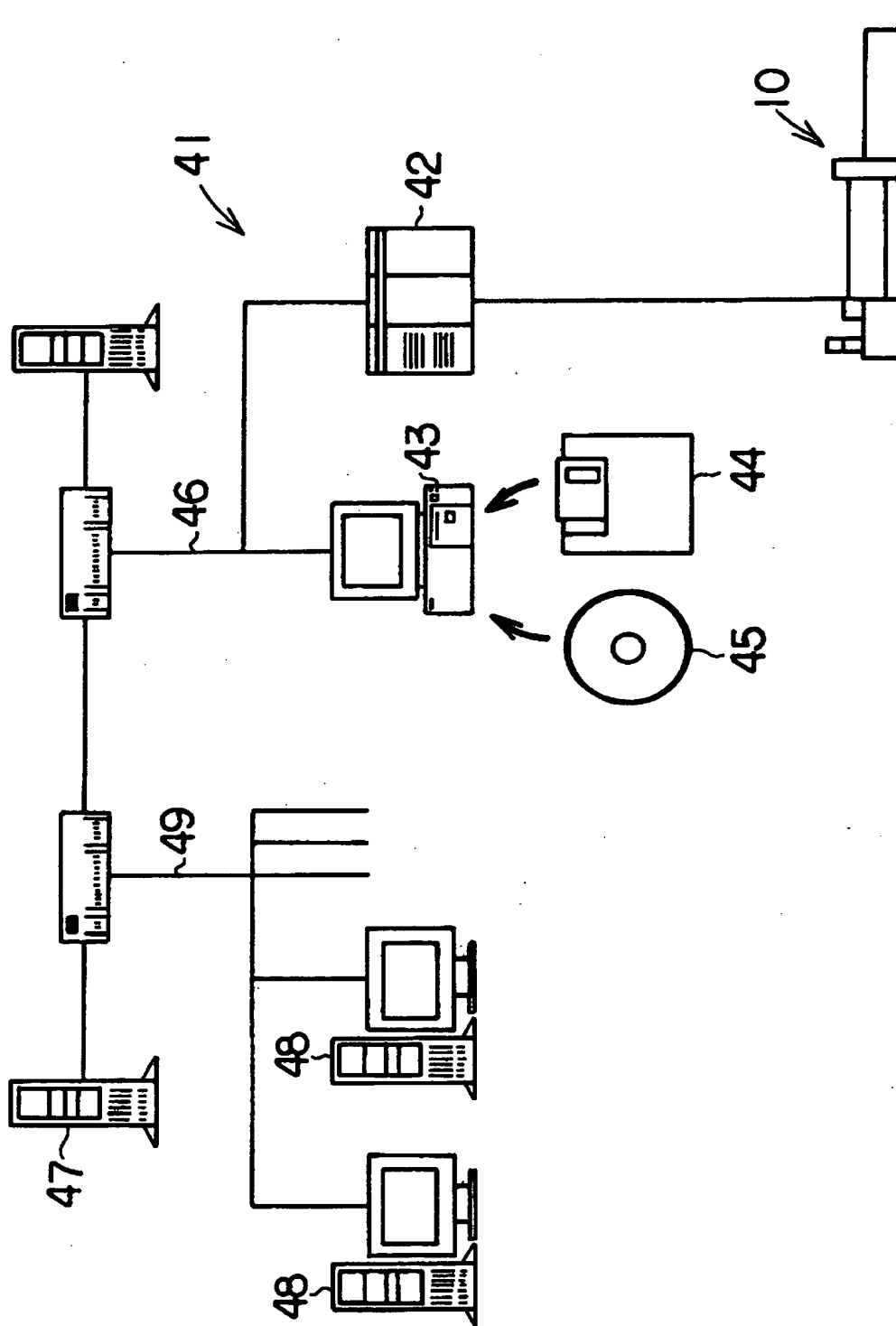
【図 2】



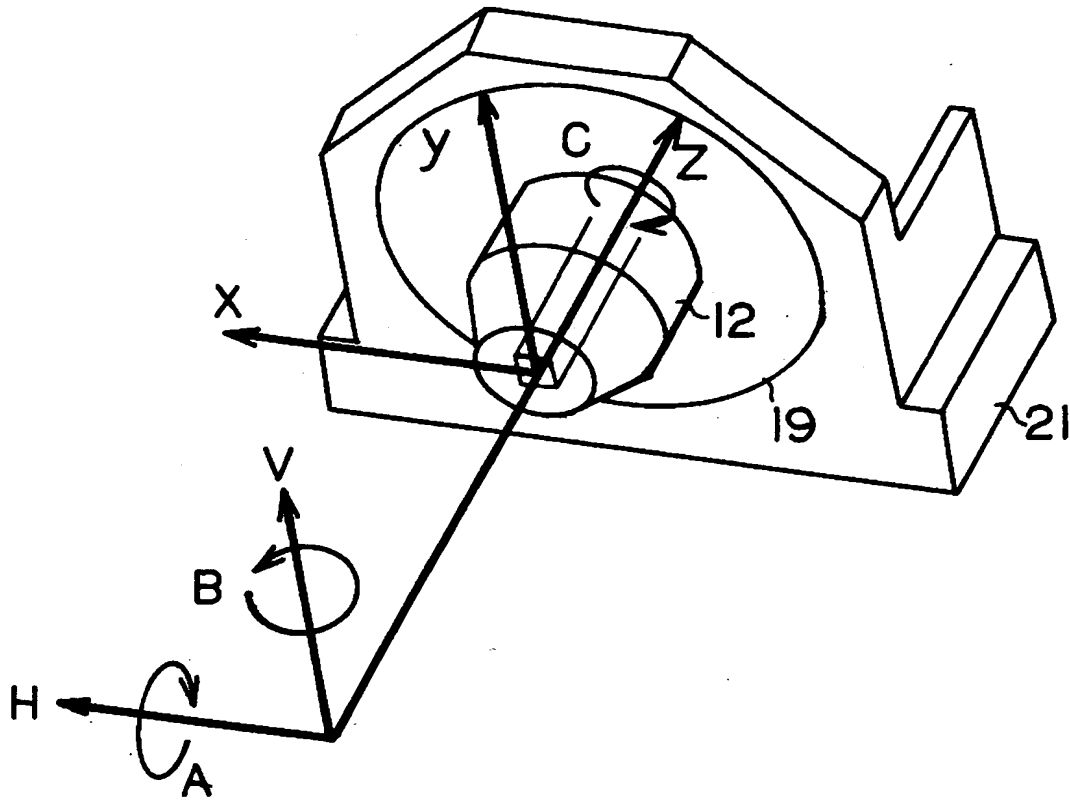
【図 3】



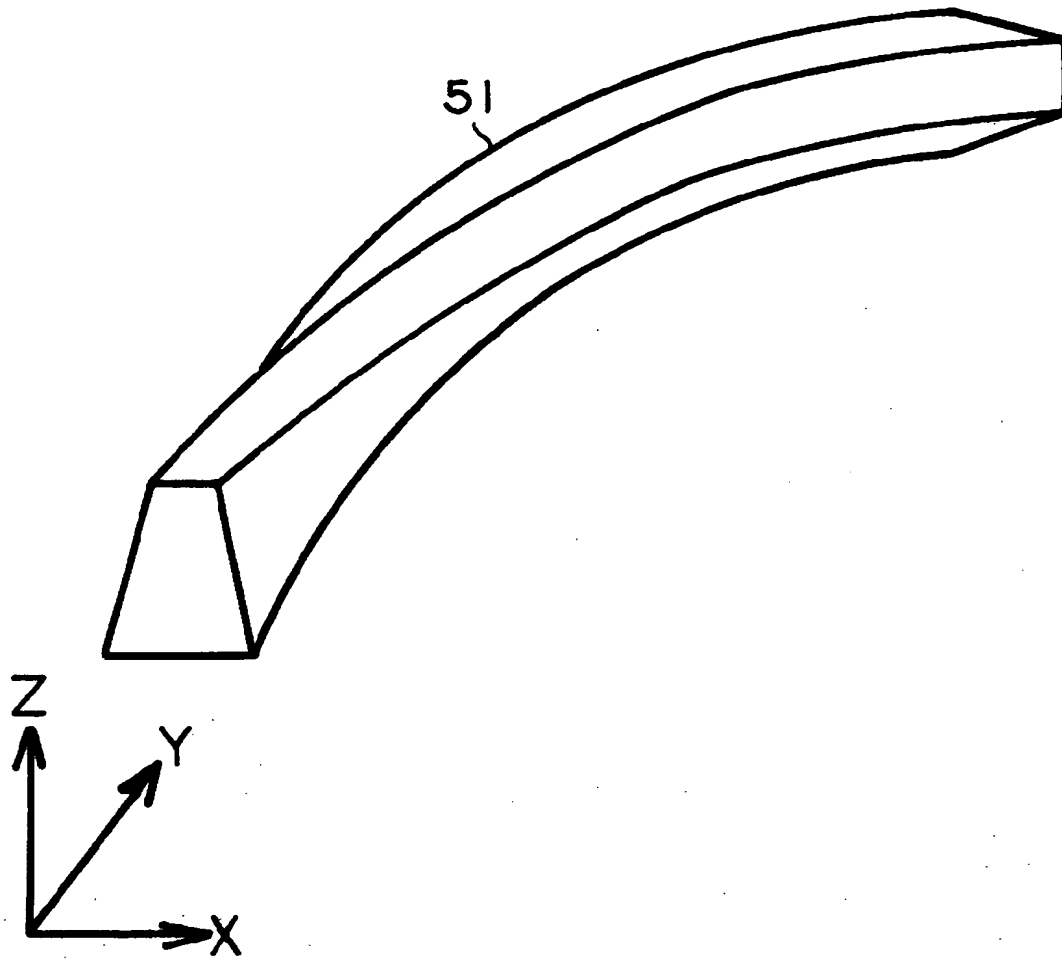
【図 4】



【图 5】



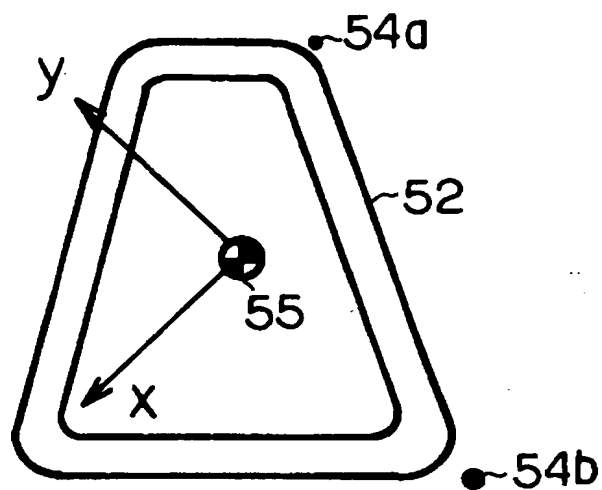
【図 6】



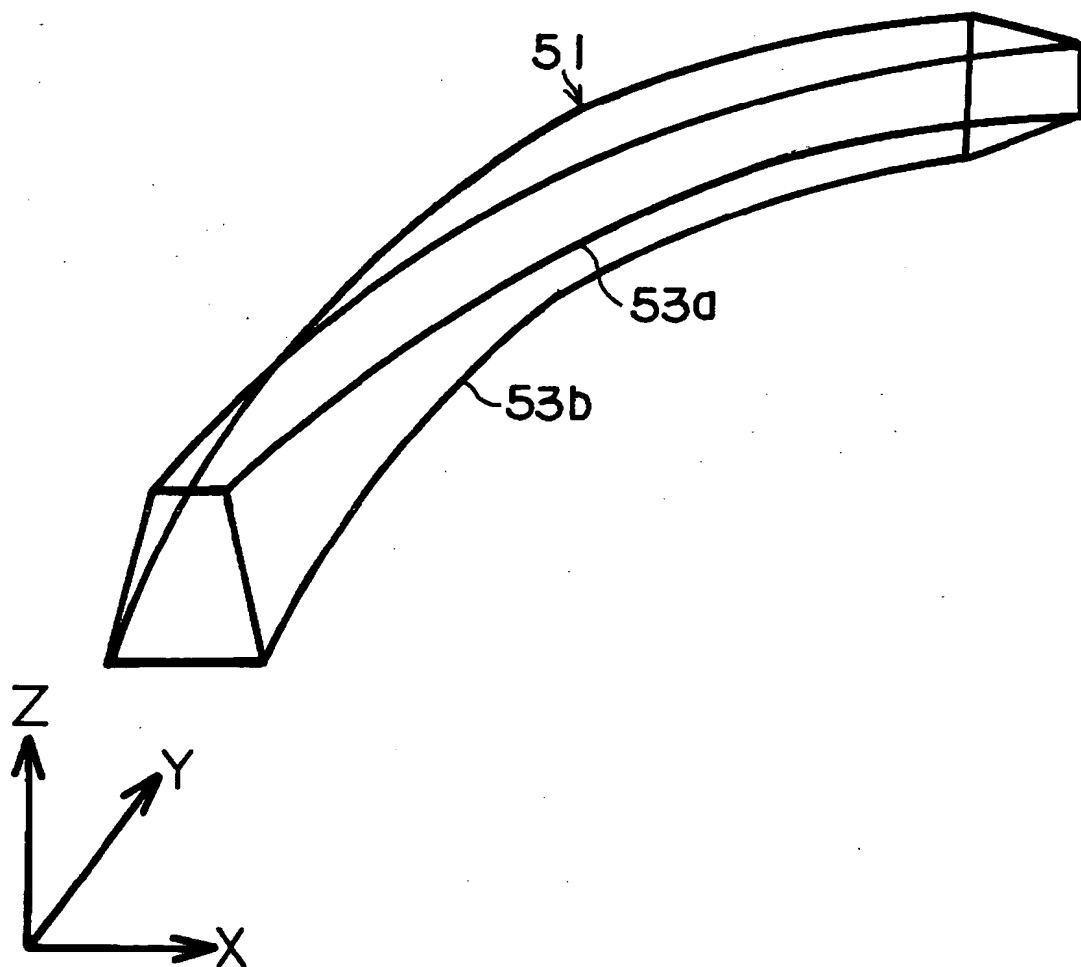
【図 7】

File Edit View Select Option									
N100	M12M10								
N120	G00	W-1293.000							
N140	G90G01	W-1423.000	F6000.000						
N150	G01	Z31.000	F6000.000						
N160	M35								
N170	M33								
N180	G90G01	U-18.000	F8000.000						
N1000	G90G01	X0.000	B0.000	Y0.446	A0.159	C0.000	W-1424.000	F6000.000	
N1001	G90G01	X0.000	B0.000	Y4.409	A3.157	C0.000	W-1504.072	F6000.000	
N1002	G90G01	X0.000	B0.000	Y7.376	A5.279	C0.000	W-1584.107	F6000.000	
N1003	G90G01	X0.090	B-0.085	Y8.515	A6.092	C0.7091	W-1601.907	F6000.000	
N1004	G90G01	X0.448	B-0.322	Y9.568	A6.844	C0.847	W-1619.706	F6000.000	
N1005	G90G01	X0.675	B-0.485	Y10.353	A7.404	C1.001	W-1637.501	F6000.000	
N1006	G90G01	X0.800	B-0.576	Y10.922	A7.810	C1.1897	W-1655.297	F6000.000	
N1007	G90G01	X0.819	B-0.589	Y11.315	A8.090	C1.3517	W-1673.088	F6000.000	
N1008	G90G01	X0.746	B-0.537	Y11.544	A8.253	C1.5281	W-1690.880	F6000.000	
N1009	G90G01	X0.651	B-0.468	Y11.628	A8.314	C1.6744	W-1708.668	F6000.000	
N1010	G90G01	X0.578	B-0.416	Y11.684	A8.339	C1.7752	W-1726.456	F6000.000	
N1011	G90G01	X0.516	B-0.372	Y11.731	A8.387	C2.584	W-1744.242	F6000.000	

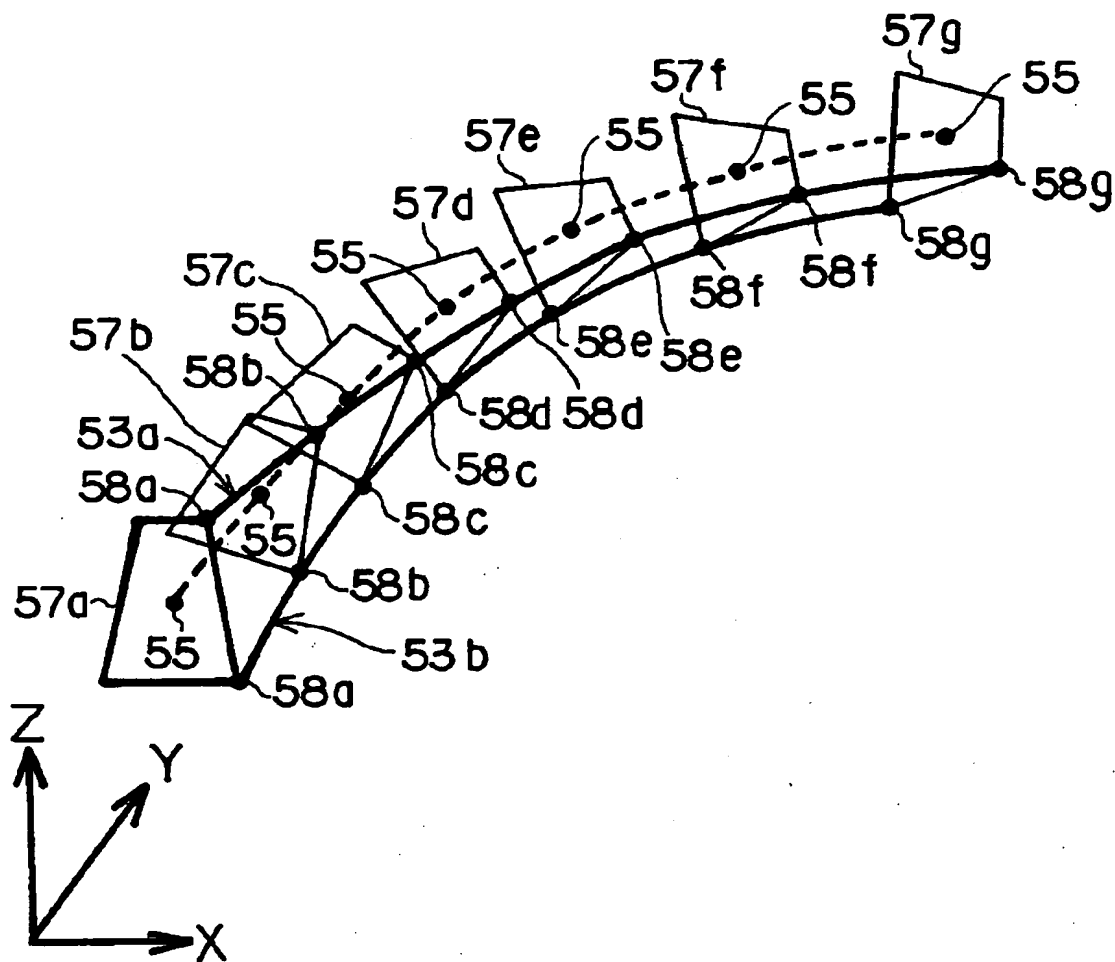
【図 8】



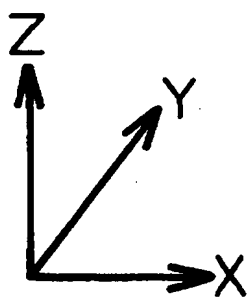
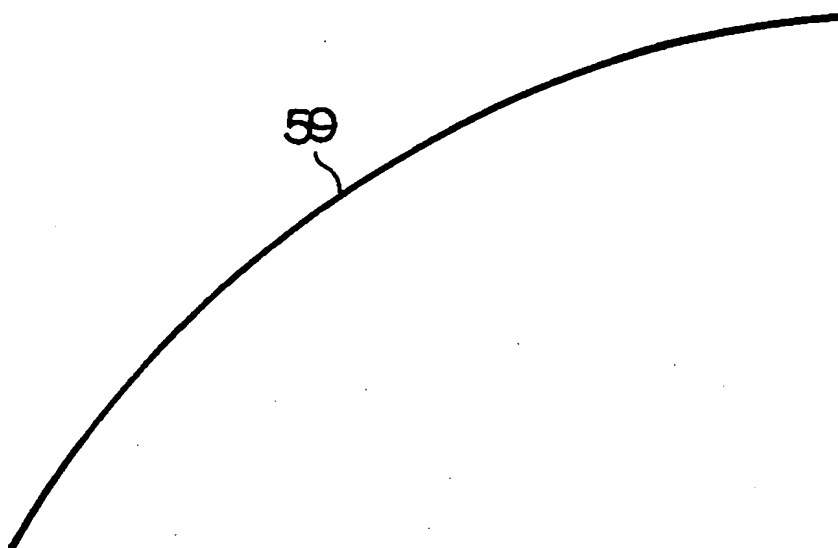
【図 9】



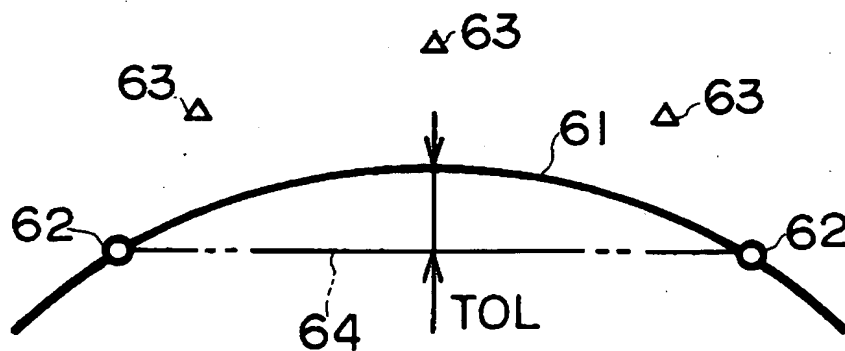
【図 10】



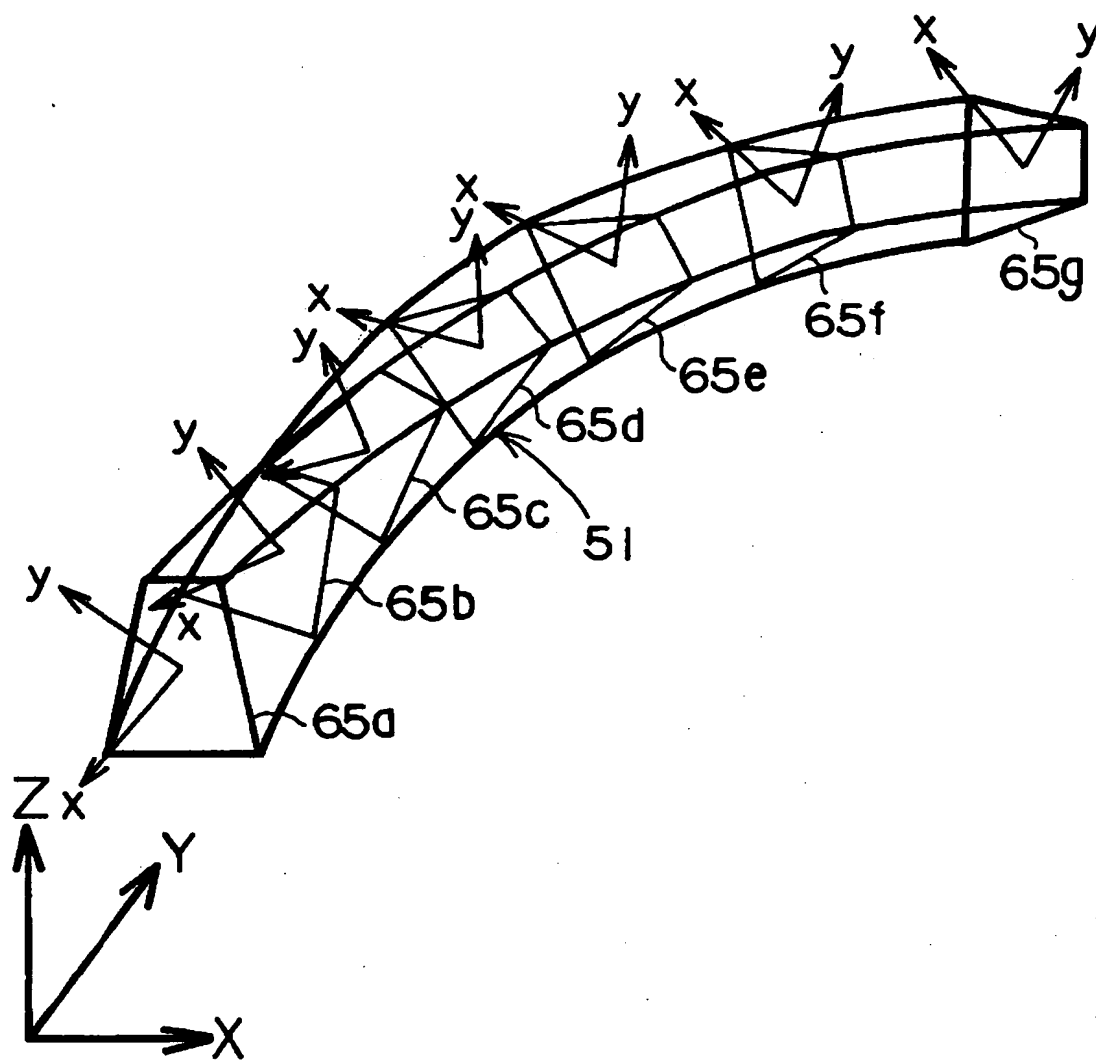
【図 1 1】



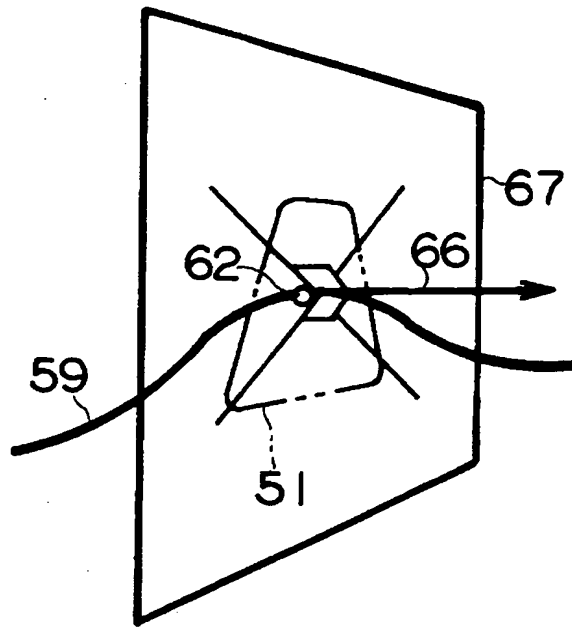
【図 1 2】



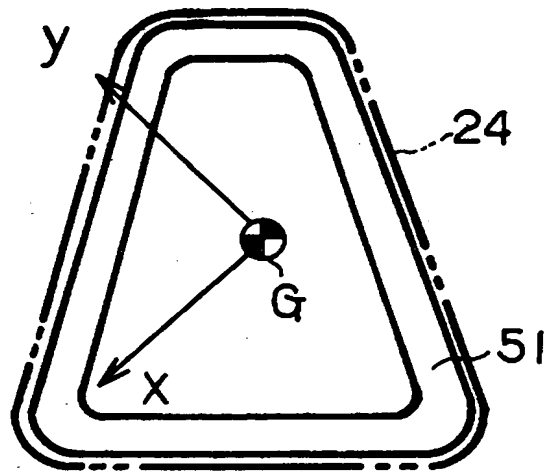
【図 1 3】



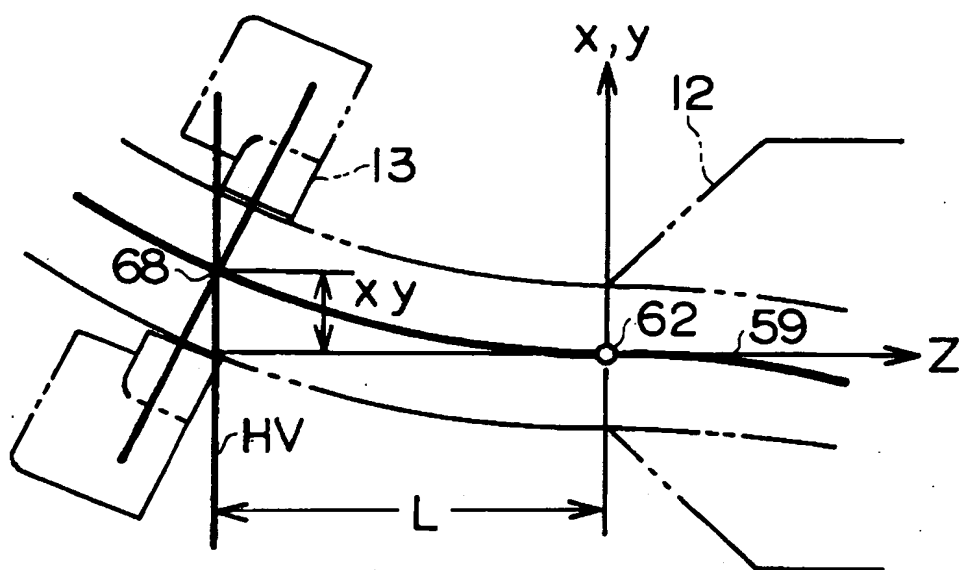
【図 1 4】



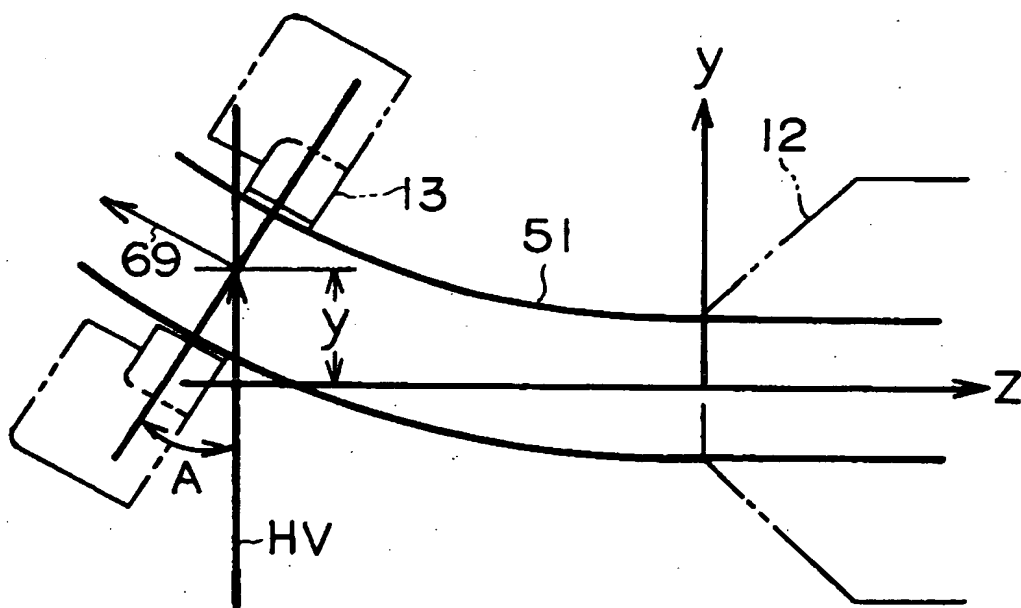
【図 1 5】



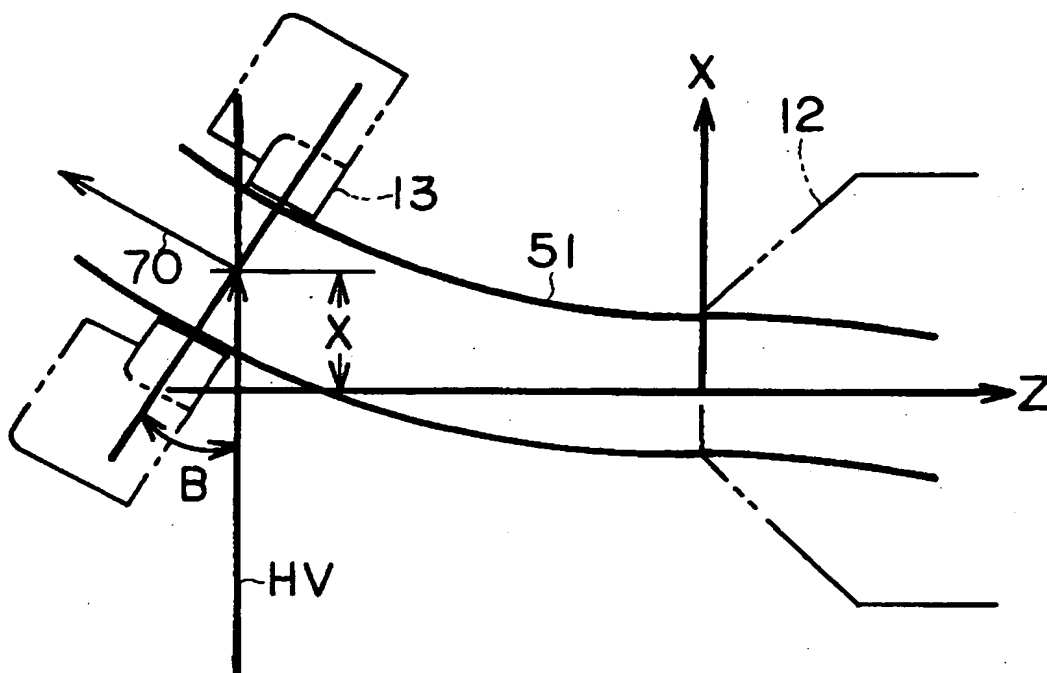
【図 16】



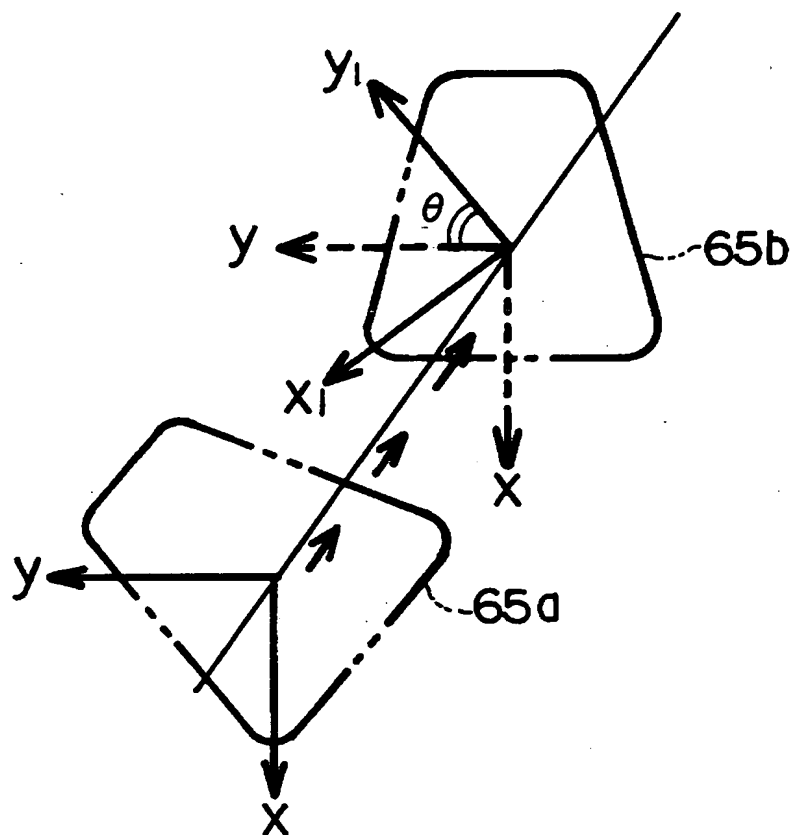
【図 17】



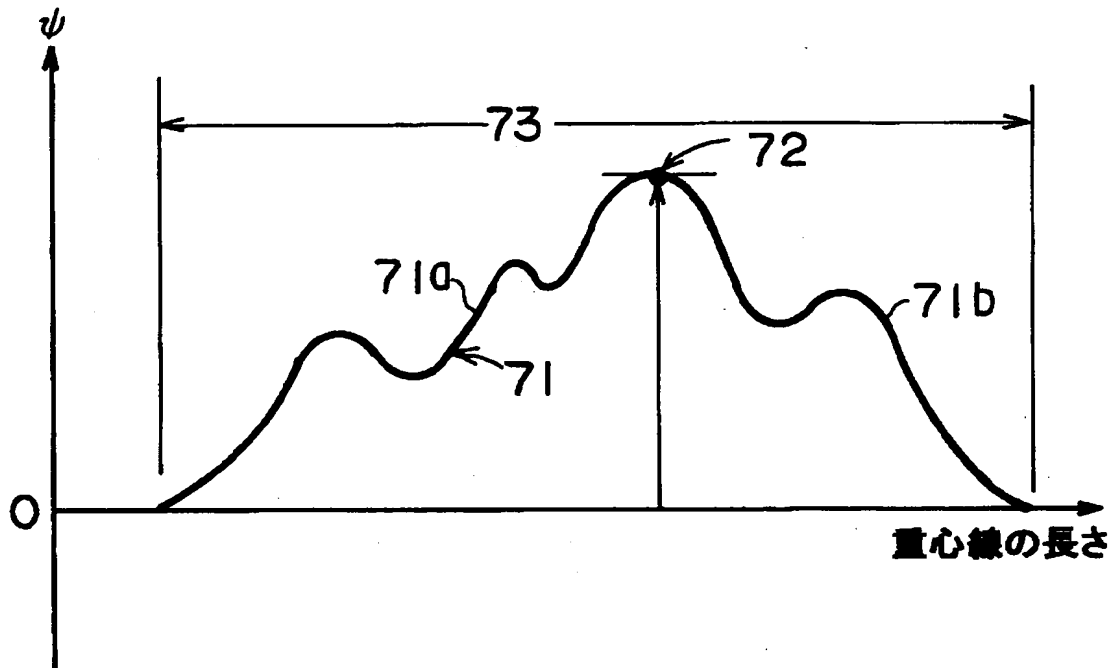
【図 1 8】



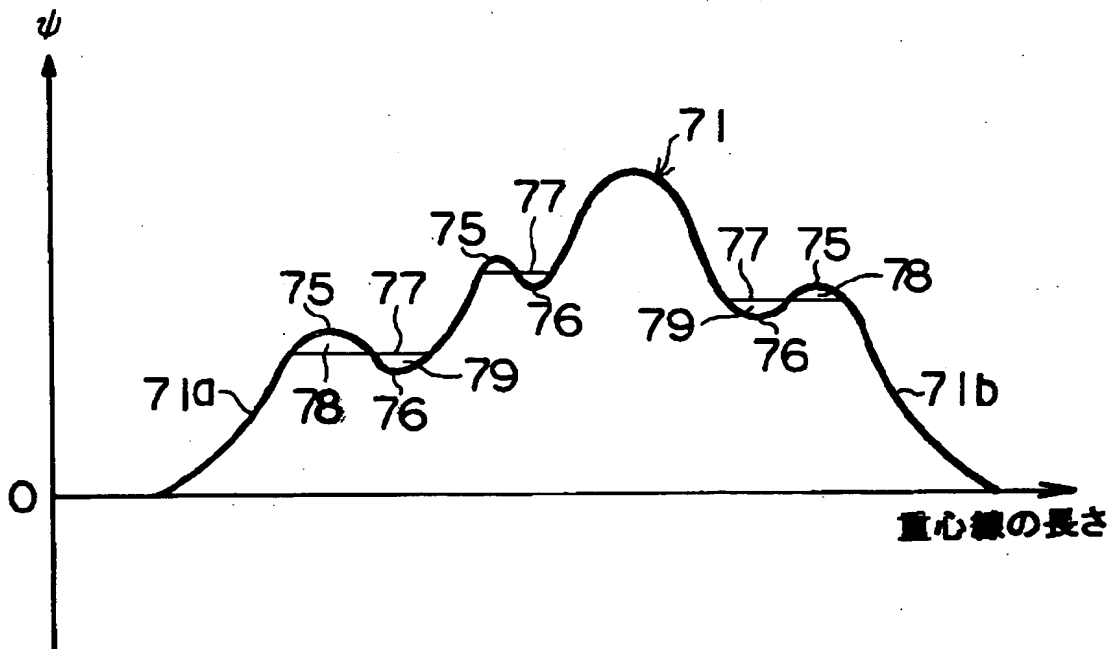
【図 1 9】



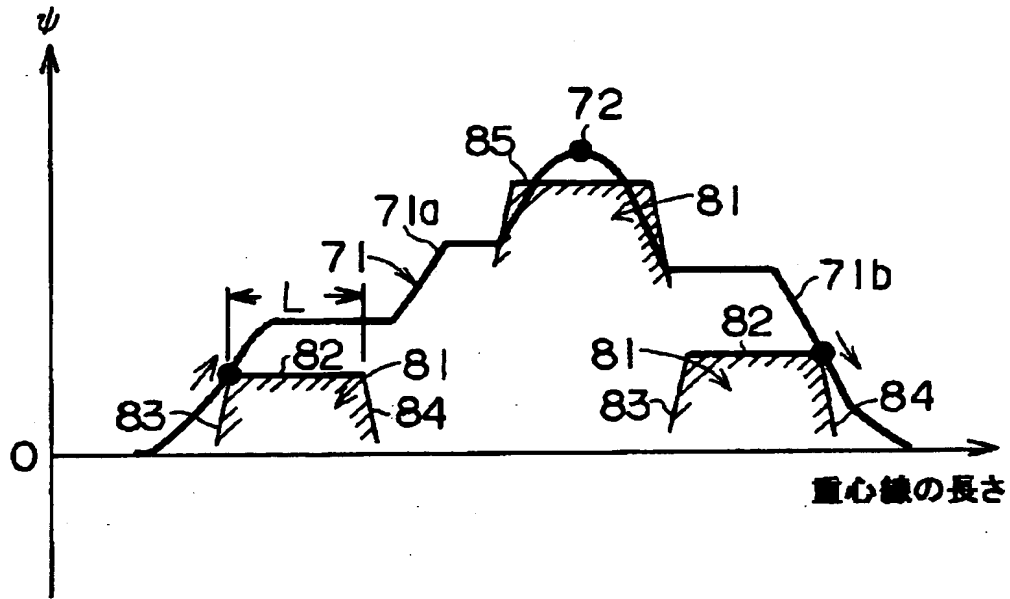
【図 20】



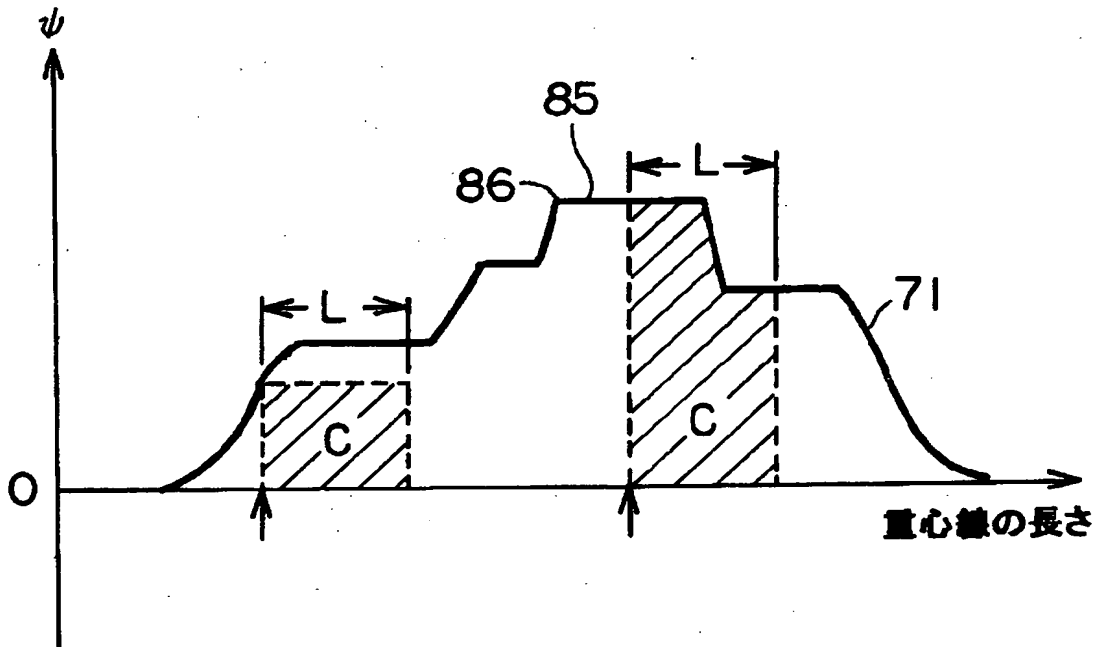
【図 21】



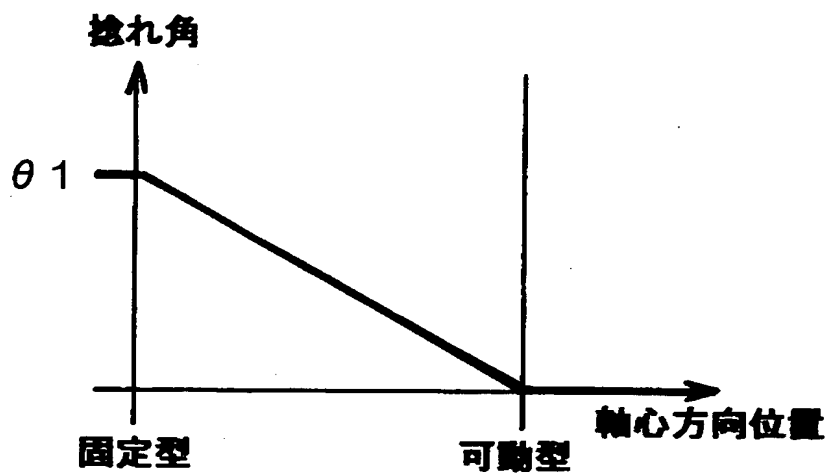
【図 2 2】



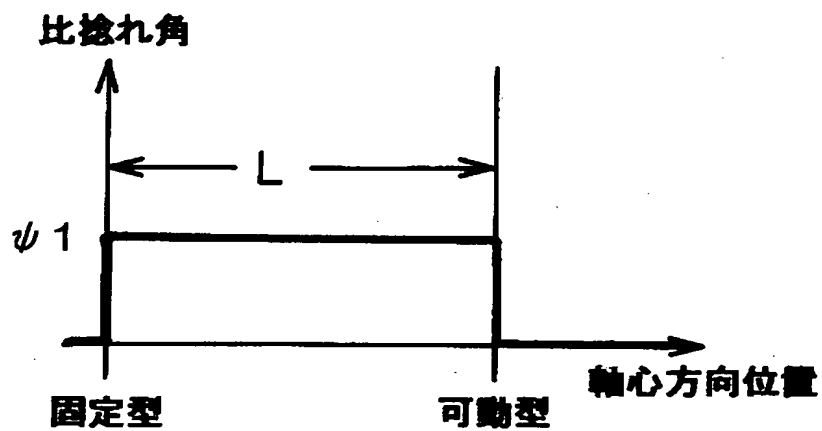
【図 2 3】



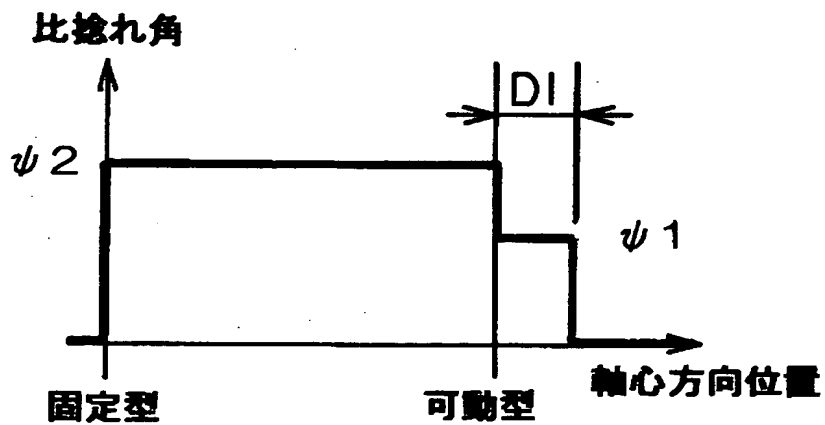
【図 2 4】



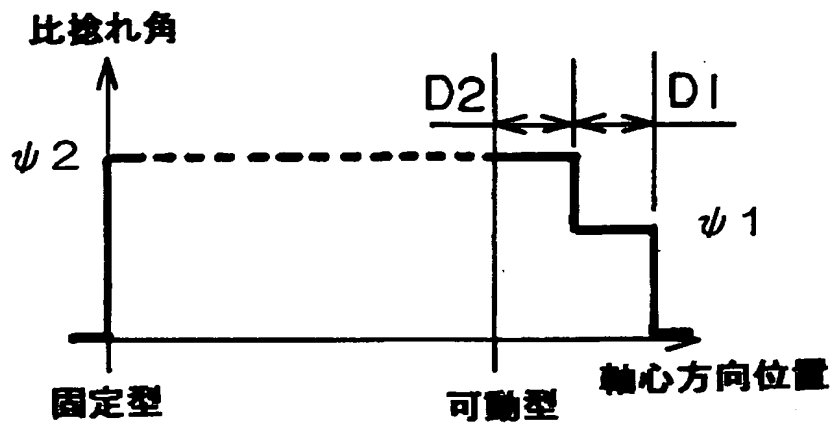
【図 2 5】



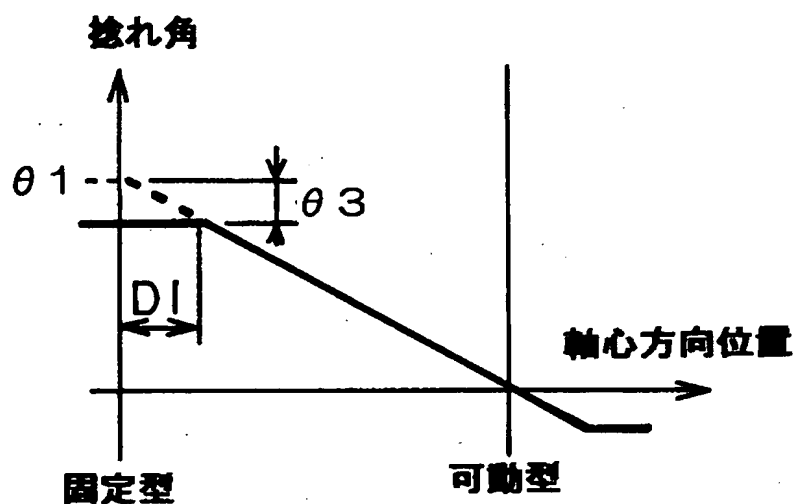
【図 2 6】



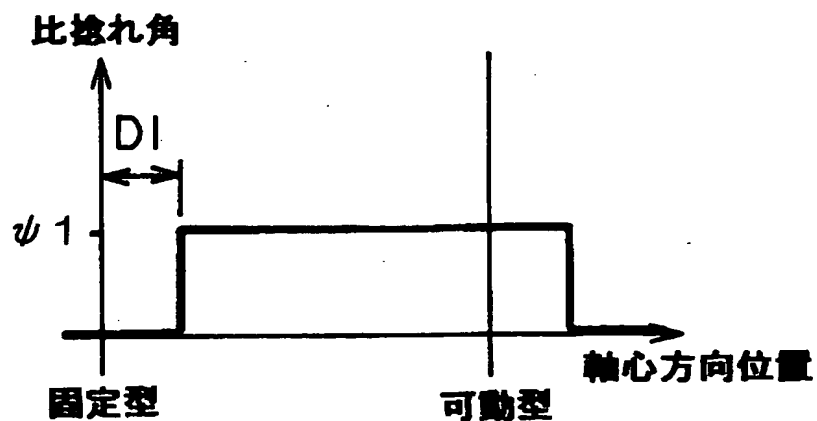
【図 2 7】



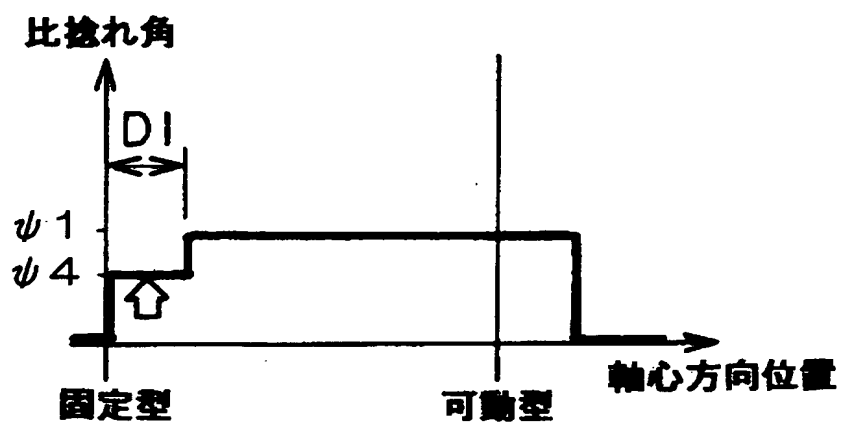
【図 2 8】



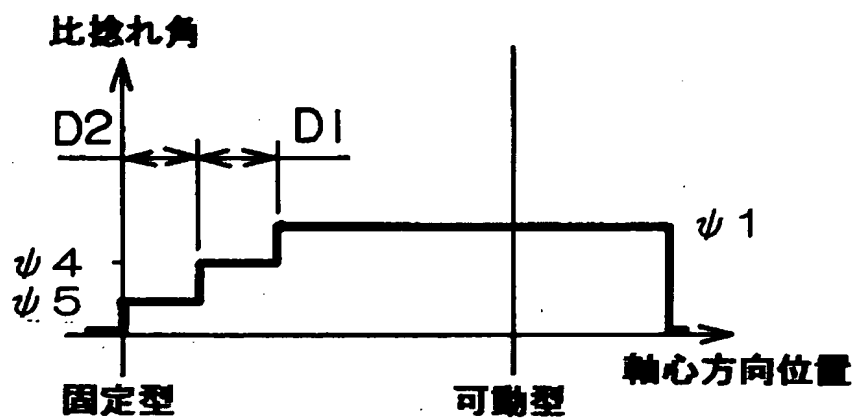
【図 2 9】



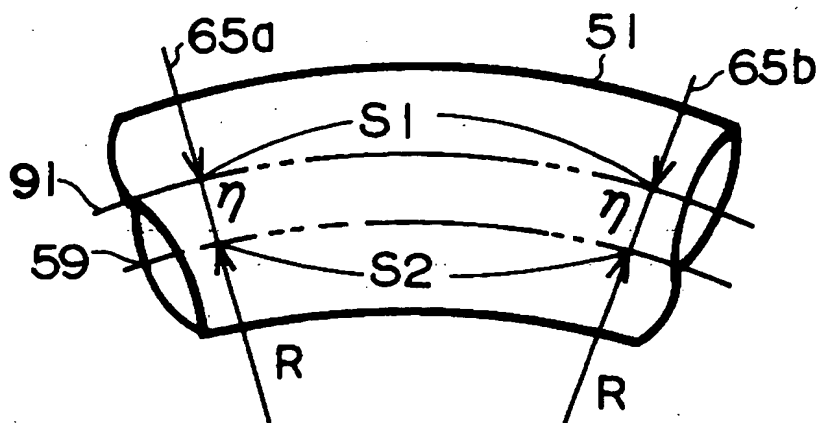
【図 3 0】



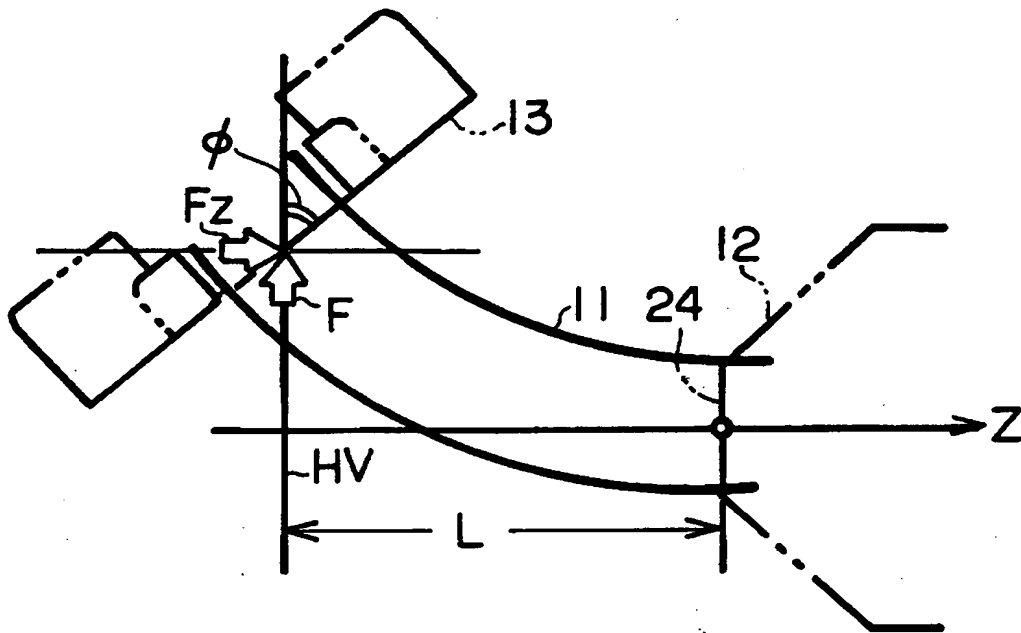
【図 3 1】



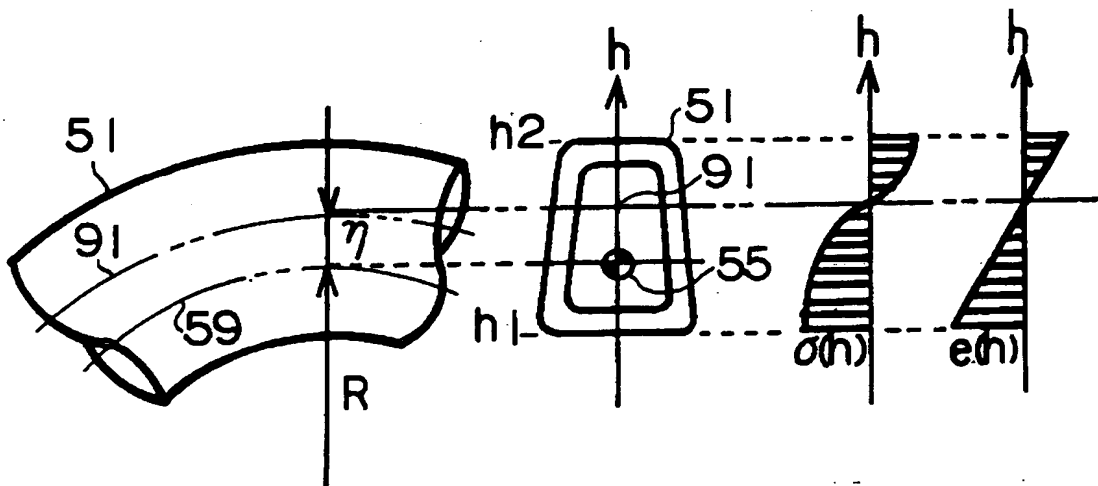
【図 3 2】



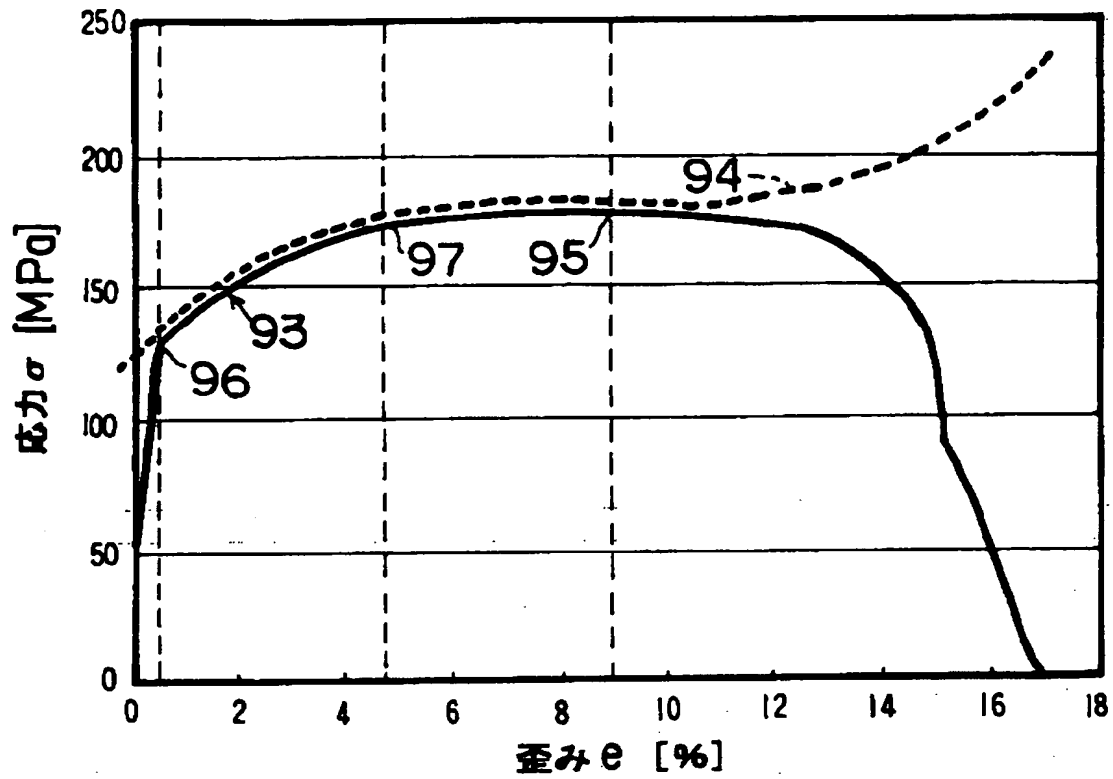
【図 3 3】



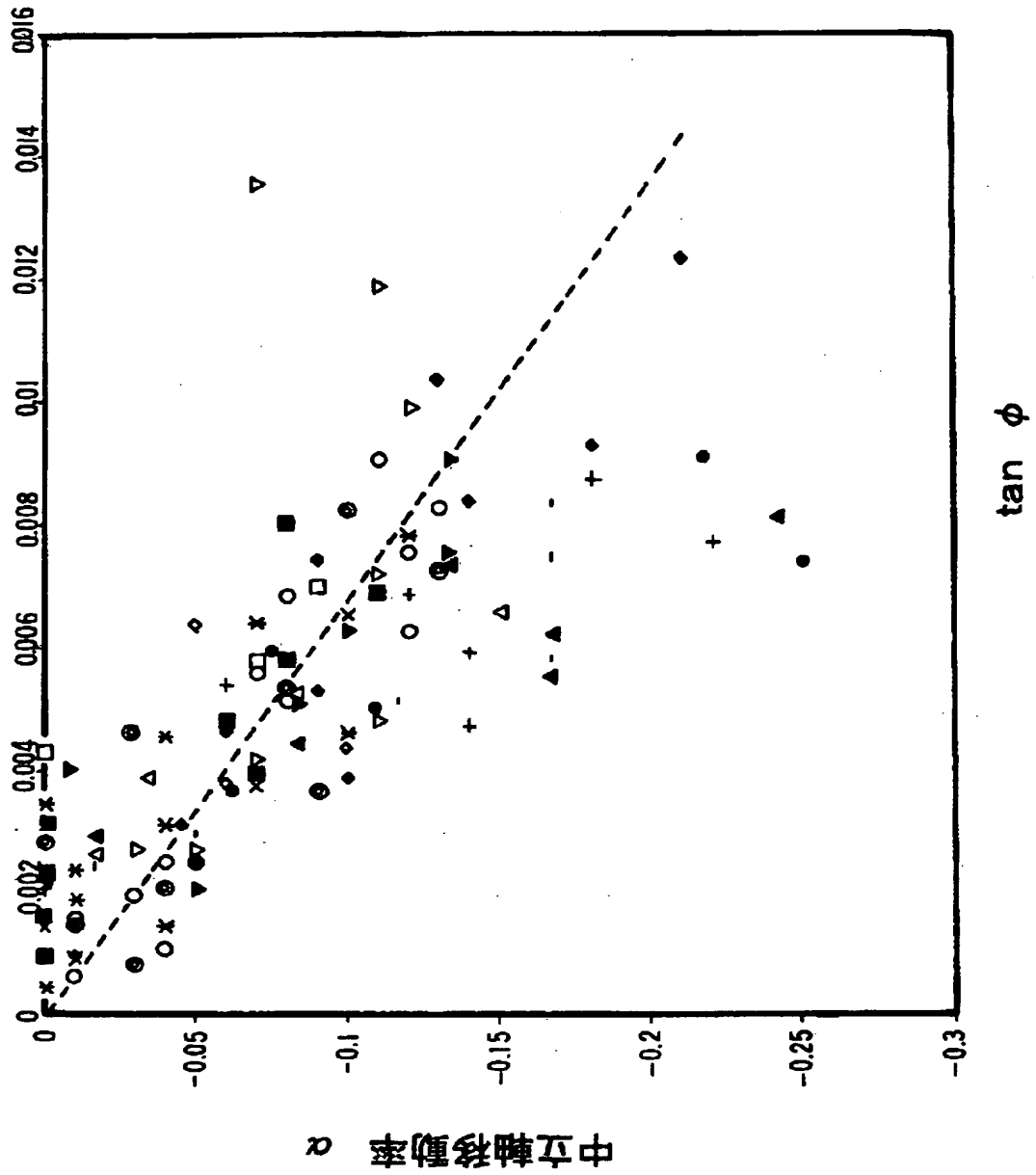
【図 3 4】



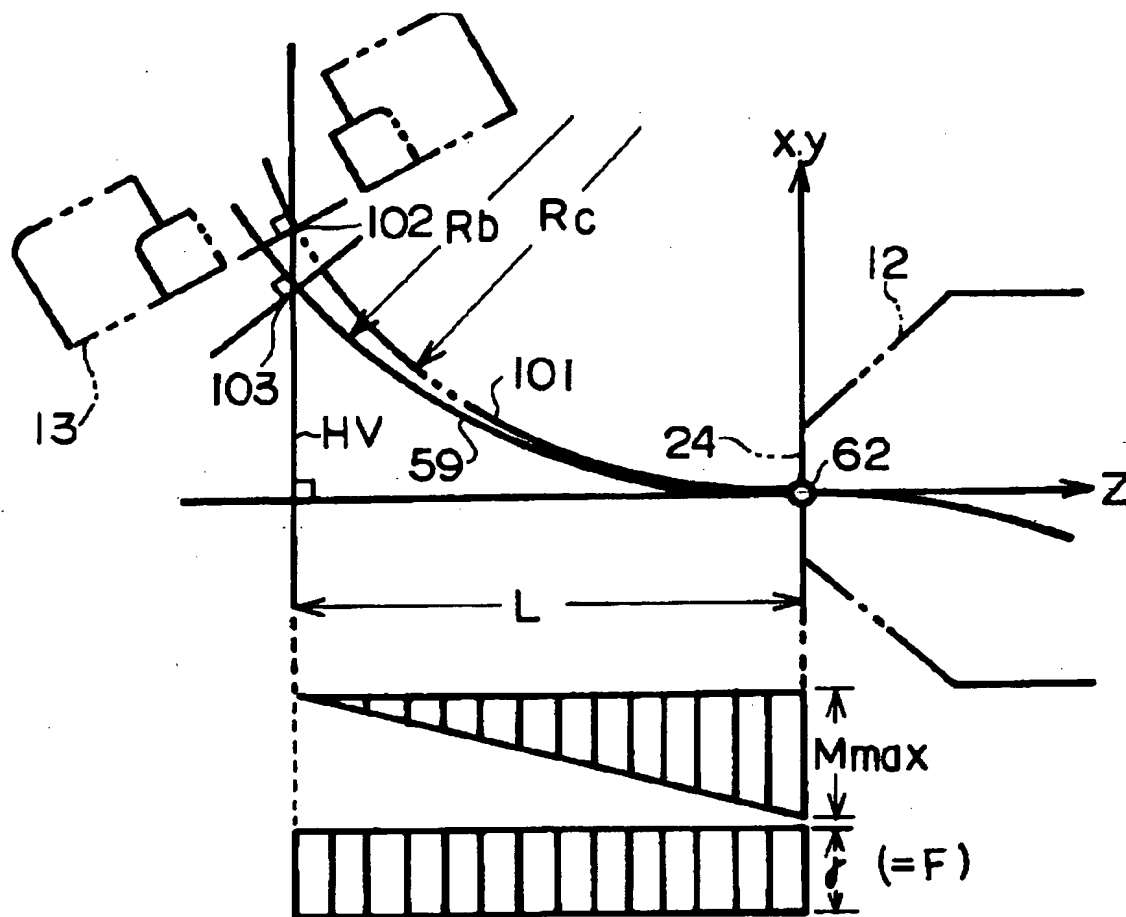
【図 35】



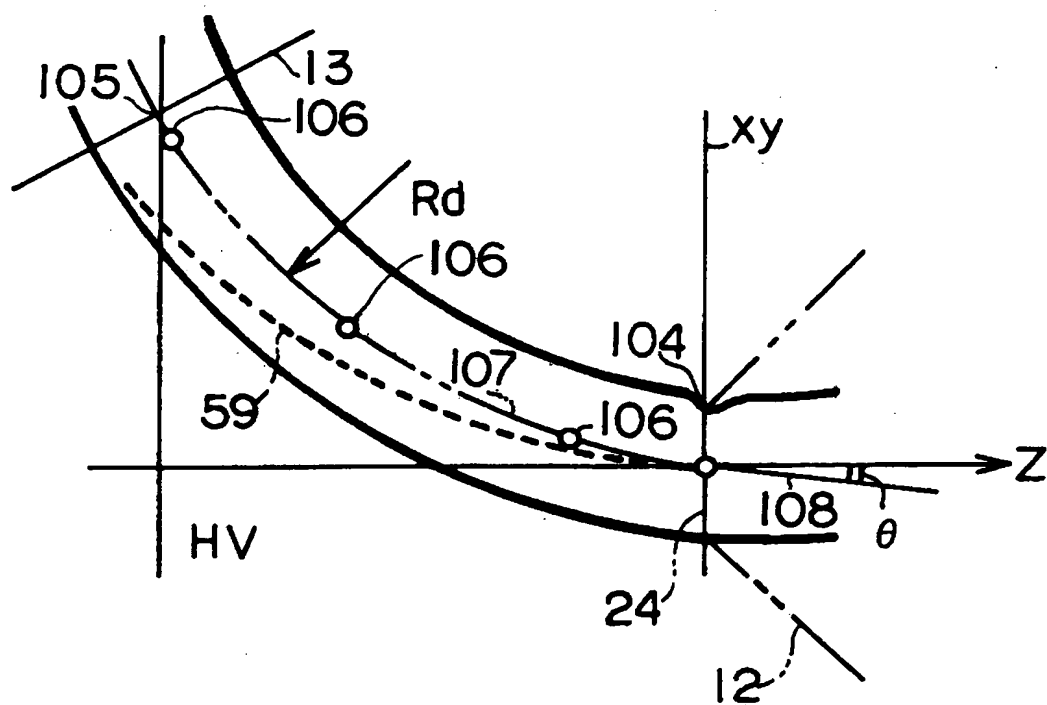
【图 3 6】



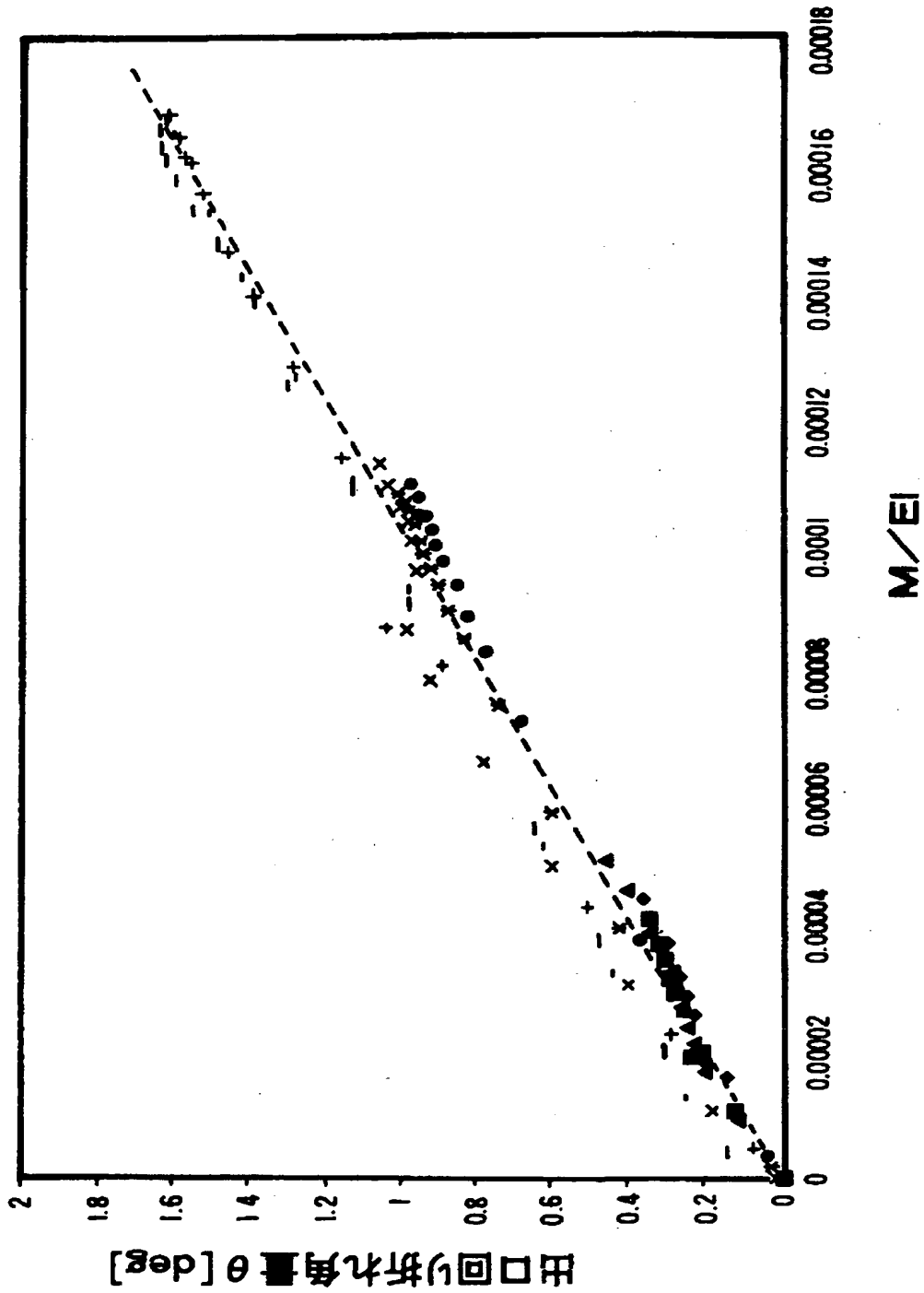
【図 3 7】



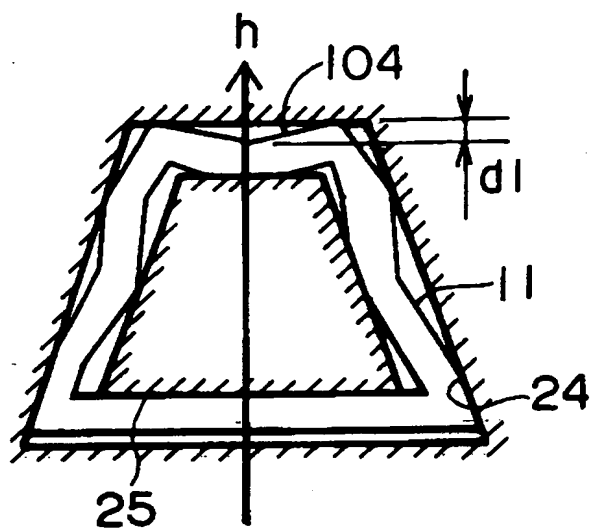
【図 3 8】



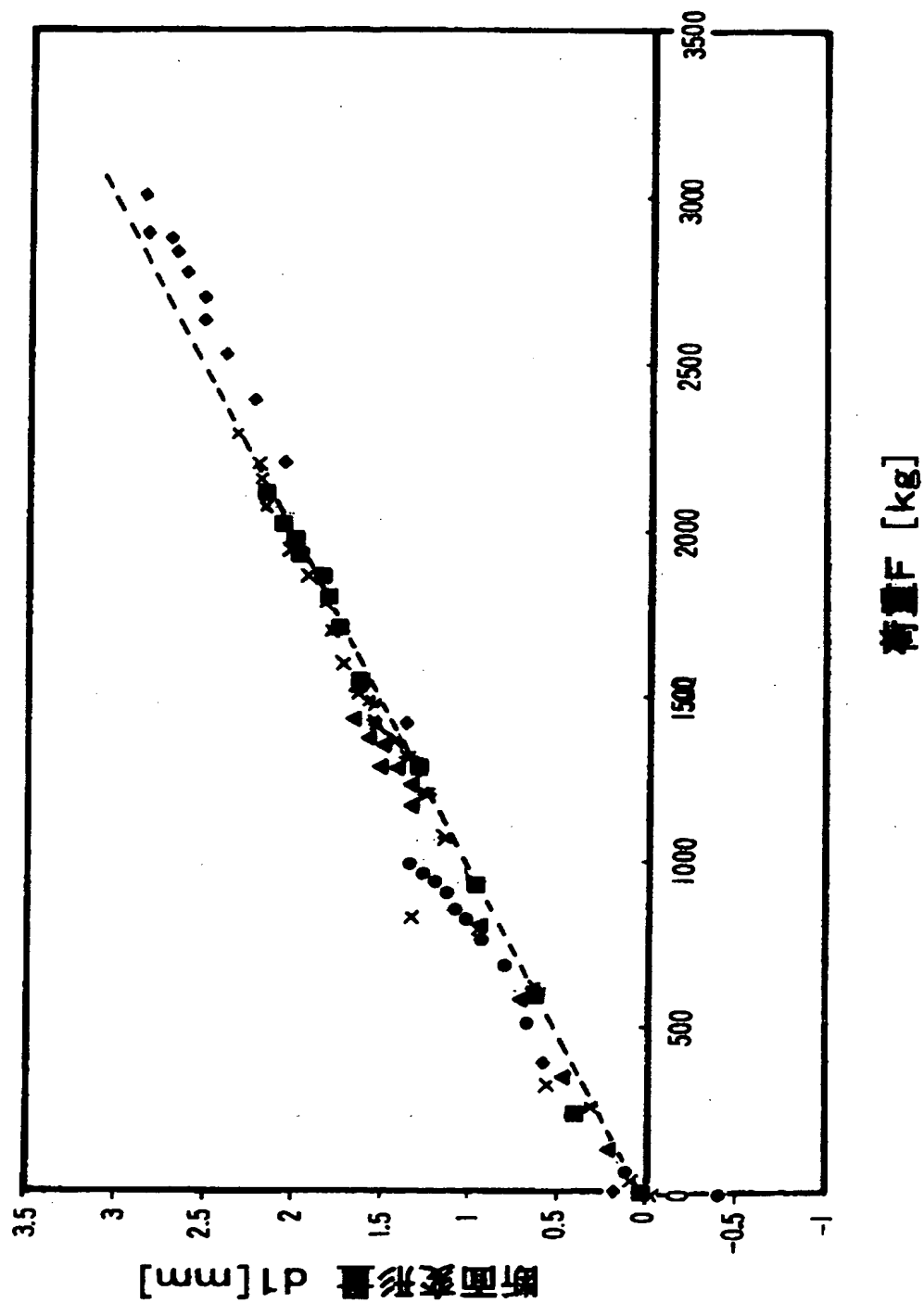
【図 3 9】



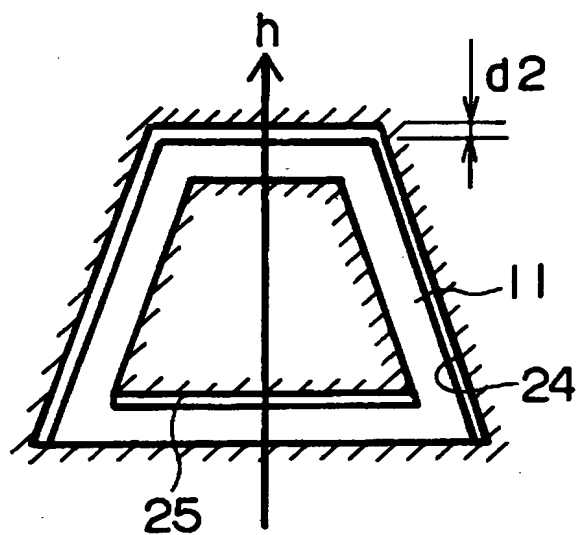
【图 4 0】



【図 4 1】



【图 4 2】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 従来の曲げ加工に加えて、できる限り設計どおりに捻り加工を実現することができる押し通し曲げ加工機用制御データ作成方法を提供する。

【解決手段】 押し通し曲げ加工機の固定型を基準に特定される局部座標系 $x y$ を長尺製品 5 1 の断面 6 5 a ~ 6 5 g ごとに設定する。隣接する局部座標系 $x y$ に基づき、長尺製品 5 1 の軸心方向に特定される単位送り量当たりの軸心回り比捻れ角は算出される。算出された軸心回り比捻れ角に基づき、軸心回りで相対回転する押し通し曲げ加工機の固定型および可動型の間で軸心回り相対回転角は算出される。こうして導き出された軸心回り相対回転角に基づき軸心回りで押し通し曲げ加工機の固定型や可動型の回転が制御されれば、比較的の高い精度で長尺材に捻れ変形を加えることが可能となる。

【選択図】 図 1 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005326]

1. 変更年月日	1990年 9月 6日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都港区南青山二丁目1番1号
氏 名	本田技研工業株式会社